WIADOMOŚCI TECHNICZNE UZBROJENIA

KWARTALNIK WYDAWANY PRZEZ
DEPARTAMENT UZBROJENIA M. S. WOJSK.

ROK DZIESIĄTY. ZESZYT Nr 41.
WARSZAWA — LIPIEC 1938 r.

Autorzy artykułów, zamieszczonych w „Wiad. Techn. Uzbr." są odpowiedzialni za poglądy w nich wyrażone.

TREŚĆ:

662. 2

Płk inż. E. BURLOT

O KILKU FAKTACH DOŚWIADCZALNYCH TYCZĄCYCH SIĘ ROZWOJU REAKCJI WYBUCHOWEJ [1])

Wstęp. Określenie pojęcia wybuchu, deflagracji i detonacji. Podział materiałów wybuchowych pod względem zachowania się ich przy zetknięciu z płomieniem lub ciałem rozżarzonym. Wrażliwość mat. wybuch. na uderzenie: wywołanie wybuchu lub detonacji. Wrażliwość prochów B i prochów nitroglicerynowych. Doświadczenia i katastrofy. Badania Komisji Naukowej Mat. Wyb. i wyniki jej pracy. Wnioski — jako przyczynek go teorii rozwoju reakcji wybuchowej.

Panowie!

Gdy w imieniu Towarzystwa Wojskowo-Technicznego oraz Polskiego Towarzystwa Chemicznego P. prof. T. Urbański zwrócił się do mnie listownie z propozycją przemówienia przed Wami w czasie mego pobytu w Warszawie, zakłopotanie moje było niezmierne na skutek rozdwojenia uczuć.

Miałem żywą ochotę wprost odruchowo potwierdzić Waszym Stowarzyszeniom — a za ich pośrednictwem Narodowi Polskiemu i jego Instytucjom — tę przychylność, która aż do dnia dzisiejszego mogła się wyrażać jedynie w ograniczonym obrębie Szkoły Aplikacyjnej francuskiej Służby Prochów w stosunku do kolegów z polskiej Służby Uzbrojenia, których miałem zaszczyt zaliczać do grona słuchaczy teorji materiałów wybuchowych.

Skąd inąd, choć wiem to dobrze, iż od profesora nie żąda się nieodzownie talentów krasomówczych, wszakże obawiałem się — i to jest właśnie tym drugim uczuciem — i boję się jeszcze, że zawiodę oczekiwania Panów zarówno pod względem wyboru tematu, który stanowi treść obecnej pogawędki, jak i pod względem sposobu wykładu. Obawa to bardzo naturalna.

Zająć Panów tak, jak to wyraził życzenie prof. Urbański „moimi badaniami z dziedziny teorii materiałów wybuchowych oraz balistyki wewnętrznej", to znaczy pobudzić mnie mimowoli do braku skromności przez podkreślenie przed Panami tej wagi, jaką przypisuję tym badaniom. Jakiegoż gorszego sędziego, niż samego siebie, możnaby wyszukać w danym przypadku.

---

[1]) Odczyt wygłoszony w Towarzystwie Wojskowo-Technicznym i w Polskim Towarzystwie Chemicznym, dnia 21 października 1937 r.

Krótkotrwałe wahanie — jako pierwszy odruch uczuciowy ustąpić jednak musiało przed myślą, że jestem jednak w możności stanąć przed Panami i przemówić językiem faktów, które umieją być wymownymi w należytym ich zrozumieniu, powstrzymując się osobiście od wszelkich odchyleń od treści w kierunku pojęć teoretycznych, zawsze mogących podlegać krytyce.

W ten oto sposób przechodzę do wykładu o kilku faktach doświadczalnych, tyczących się rozwoju reakcji wybuchowej, faktach, wybranych z pośród liczby zjawisk, jakie obserwowałem ze szczególną uwagą. .

* * *

Ażeby uniknąć wszelkich pomyłek w ujęciu faktów, jakie będziemy omawiali, uważam za rzecz potrzebną streszczenie w krótkim wstępie pewnej liczby określeń, odnoszących się do wyrażeń, którymi będziemy się posługiwali w czasie obecnego wykładu.

Sformujemy te określenia po rozważeniu każdego z tych terminów. Określenia te nasuwają się same przez się, ponieważ nie zahaczają one o żadną z klasycznych teoryj i ponieważ posiadają, z naszego punktu widzenia, zasługę usunięcia godnych pożałowania omyłek, jakie zbyt często spotyka się w technicznej literaturze.

Użyliśmy w tytule określenia: „reakcja wybuchowa". Załóżmy, że mamy do czynienia z reakcją chemiczną szybko przekształcającą w czasie bardzo krótkim układ stały, ciekły, gazowy lub mieszany, w którym się ona rozwija, tworząc znaczną objętość gazów o wysokiej temperaturze.

Mamy tu z jednej strony zjawisko o charakterze egzotermicznym; z drugiej zaś strony wprowadzamy w grę zespół gazów nowowytworzonych albo też przekształconych przez reakcję. Okoliczności te ustalają warunki konieczne do stworzenia reakcji wybuchowej. Ażeby zaś te warunki stały się wystarczającymi, należy wprowadzić jeszcze czynnik czasu.

Określenie „materiał wybuchowy" wyrazi więc:

Ciało (lub mieszaninę ciał) zdolne do wytworzenia chemicznych reakcyj wybuchowych.

W praktyce, ciała, albo mieszaniny ciał odpowiadające podanemu wyżej ogólnemu określeniu, noszą nazwę materiałów wybuchowych lub też prochów, zależnie od tego, czy właściwy im rozpad polega na wybuchu (detonacji), czy też na szybkim spalaniu się (deflagracji).

Istotnie, niezbędne jest rozróżnienie tych dwóch rodzajów rozpadu materiałów wybuchowych. Ich utożsamianie jest właśnie tą pożałowania godną omyłką, na którą dopiero co zwróci-

liśmy uwagę i która polega na błędnym zrównaniu znaczenia wyrażeń: „wybuch", „deflagracja" i „detonacja".

Przyjmujemy więc, że *wybuch* jest zespołem zjawisk, wynikających z rozprężenia się ciała lotnego — najczęściej gazu lub pary — zapoczątkowanego stanem wystarczającego sprężenia i w czasie dostatecznie krótkim, aby wywołać efekty dźwiękowe i mechaniczne.

Potocznie mówi się, że działo, pocisk, gazomierz, kocioł, prasa hydrauliczna wybuchły. Dzieje się to wówczas, gdy następuje nagłe rozerwanie powłoki jako skutek nadciśnienia wewnętrznego.

Przez *deflagrację* wyrażamy rodzaj rozkładu materiału wybuchowego, posiadającego jako dające się wymierzyć cechy: szybkość postępowania na ogół niejednostajną, nie zbyt wielką (rzędu 1 m/sek), zależną od ciśnienia, warunków zapoczątkowania i warunków końcowych w czasie i w przestrzeni jak również od wszelkich właściwości ładowania.

Z punktu widzenia mechanicznego deflagrację, w przeciwieństwie do detonacji, cechuje brak fali, wykazującej nieciągłość ciśnienia z jeszcze nie naruszonym środowiskiem.

Gdy się zapala za pomocą zapałki mieszaninę wybuchową gazową w rurce, w punkcie zapłonu wywołuje się deflagrację.

Proch czarny rozkłada się przez deflagrację, lecz nie drogą detonacji. Prochy miotające deflagrują wówczas, gdy bywają zapłonione wewnątrz broni. Jednakże w przypadku prochów miotających częstokroć używa sie terminu „spalanie się", który wówczas jest synonimem „deflagracji".

Mówi się nawet, w zrozumieniu ogólnym, że zachodzi „spalanie się" gazu przy wylocie palnika Bunzena, aczkolwiek to zjawisko odpowiada raczej określeniu deflagracji (J o u g u e t).

Należałoby więc ograniczyć w potocznej praktyce stosowanie słowa „deflagracja" do spaleń odbywających się w sposób stały lub czasami z pewną dość znaczną żywością i mogących wywoływać efekty mechaniczne przypominające te, które daje zazwyczaj fala wybuchowa.

Zachowujemy nazwę „*detonacji*" dla całokształtu rozkładu materiału wybuchowego, posiadającego cechę dającą się wymierzyć a mianowicie: jednostajną szybkość postępowania (mogącą dosięgnąć kilku tysięcy metrów na sekundę), nie zależną od ciśnienia oraz warunków początkowych i końcowych w czasie i przestrzeni i zależną zasadniczo od rodzaju materiału wybuchowego, a dla materiałów wybuchowych stałych — od gęstości ładowania.

Z punktu widzenia mechanicznego cechy powyższe stanowią wypadkową z powstania w środowisku wybuchowym „fali uderzenia i spalania", którą nazywają „falą wybuchową" i która przedstawia znaczną różnicę ciśnienia (skok) ze środowiskiem jeszcze nie naruszonym.

Materiały wybuchowe górnicze lub artyleryjskie, pobudzone za pomocą spłonki z piorunianem rtęci lub z trójazotkiem ołowiu o wystarczającej masie — detonują.

Proszę zachowywać w pamięci powyższe określenia, ażeby nadawać faktom, o których będziemy dalej mówili, właściwe im znaczenie.

Fakty, do których opisu przystępuję w wykładzie niniejszym były zaobserwowane w czasie badań, do których jestem powołany w charakterze kierownika Komisji Naukowej Materiałów Wybuchowych. Jeżeli zaś niektóre z nich nie będą stanowiły dla Panów bezwzględnej nowości, to wszakże będą dość pouczające i godne uwagi z racji wskazówek, jakie nasuwają bądź to z punktu widzenia wykorzystania praktycznego, bądź też ze względu na ich czysto spekulatywne znaczenie.

Nadmieniłem, że materiały wybuchowe, co się tyczy ich stosowania, przyjęto ogólnie dzielić na 2 kategorie: materiały wybuchowe właściwe i prochy, zależnie od tego, czy ich normalne użycie związane jest z „detonacją", czy też z „deflagracją".

Co się tyczy materiałów wybuchowych w ścisłym znaczeniu, dzielimy je z kolei na 2 kategorie:

a) materiały wybuchowe do napełniania pocisków (pochodne nitrowe węglowodorów, fenoli; estry azotawe lub azotowe; mieszaniny ciał spalających i spalanych);

b) materiały wybuchowe zapłonowe lub pobudzające (pioruniany, azotki).

Powyższe rozróżnianie opiera się na sposobie, w jaki się zachowują materiały wybuchowe przy zetknięciu się z płomieniem albo z ciałem rozżarzonym w najbardziej powszednich warunkach ich użycia.

Materiały wybuchowe a) spalają się, o ile ich masa nie jest zbyt wielka lub też ciśnienie, jakiemu podlegają, nie jest zbyt wysokie; to znaczy rozkładają się, tak iż to spalanie się nie przechodzi w detonację, z zastrzeżeniem przy tym nieobecności pewnych zanieczyszczeń w materiale wybuchowym.

Dla materiałów b), przeciwnie, detonacja pojawia się niezawodnie nawet przy najmniejszych masach materiału wybuchowego w sposób taki, że niemożliwością jest uchwycenie chwili wstępnego spalania się w najmniejszej nawet jednostce czasu.

Powyższa klasyfikacja, która może zadowolić pirotechnika, artylerzystę lub sapera, może być z łatwością skrytykowana przez fizyka, inżyniera-prochowca, przywykłego do drobiazgowego badania zjawisk związanych z mechaniką materiałów wybuchowych, ponieważ jego badania nie omieszkają go przekonać, że wszelkie materiały wybuchowe, za wyjątkiem *być może* znikomej ich ilości — podkreślamy tutaj słowa „być może" — są skłonne do tego, by stać się siedliskiem reakcyj wybuchowych zmiennych — od deflagracji do detonacji, które mogą występować w czasie stosownie do rodzaju, ilości i sposobu rozczłonkowania energii zużytej na zapoczątkowanie reakcji.

Ażeby zobrazować powyższą tezę podamy *pierwszą serię zjawisk*. Występują one w postaci wybuchów na skutek deflagracji lub detonacji wywołanych przez uderzenie, któremu uległ materiał wybuchowy: uderzenie mechaniczne zwykłe lub od fali.

Wiadomo, że dotychczas nie ma żadnej niewątpliwej teorii, która mogłaby zdać sprawę z mechanizmu wrażliwości na uderzenie materiałów wybuchowych i że tylko metody empiryczne dostarczają nam pojęcia o „makroskopijnym" obliczu zjawiska.

Żaden przyrząd nie pozwala dokonać ścisłego pomiaru, mimo wysiłków skierowanych do tego, by zbadać tę dziedzinę; wysiłków, które w ostatniej dobie doprowadziły fizyków do poddania — wprawdzie bez wielkiego sukcesu — bombardowaniu materiałów wybuchowych, pobranych z pośród najbardziej czułych, elektronami ([1]) oraz falami ultra-dźwiękowymi ([2]).

Otrzymuje się tu zaledwie prawdopodobieństwa; w dodatku posługiwać się trzeba materiałami wybuchowymi wyjątkowo czułymi na uderzenie, jak trójjodek azotu, piorunian rtęci w kryształkach, mieszaniny zawierające nadtlenki ewentualnie zmieszane z nadchloranami.

Praktycznie, co się tyczy wrażliwości na uderzenie „mechaniczne", mamy jeszcze trudność w ustalaniu porównań ([3]) za pomocą kafarków, mniej lub więcej udoskonalonych; prof. Urbański ([4]), który w swej pięknej pracy podjął się zbadania tej sprawy, spodziewam się — nie zaprzeczy temu.

Bądźmy zatem bardzo oględni z chwilą, gdy mamy do ocenienia stopień wrażliwości materiału wybuchowego na uderzenie.

Sprecyzujemy powyższe na typowym przykładzie:

Zbędne by było przytaczanie dowodu (od czasu pierwszych prób dokonanych przez Vieille'a w 1906 r.), że ciała wybuchowe znajdujące się w stanie koloidalnym w prochu B, którego deflagracja jest wykorzystywana w broni palnej, są zdolne do wykazywania zjawiska detonacji, cechującej się jednostajną szybkością od 6.000 do 6.500 m/sek wówczas, gdy są one odpowiednio zapłonione. Pozwolę sobie przypomnieć wyniki naszego badania, przedstawionego Komisji Naukowej Materiałów Wybuchowych w listopadzie 1920 r. ([5]).

Mam nadzieję, że znajdą Panowie w ten sposób materiał do porównania z wynikami własnych doświadczeń ([5']).

Co się tyczy prochów B o wilgotności normalnej, możemy uważać następujące wyniki za należycie ustalone:

1⁰) Wtórny zapłon o sile około 30 g bawełny strzelniczej (suchej), kwasu pikrynowego lub dynamitu Nr 1 pozwala na zdetonowanie w masie, z szybkością ok. 6.500 m/sek, prochów o wymiarach BM_9 do BM_{17} umieszczonych w ładunkach ciągłych i ścisłych przy gęstości ładowania > 1.

2⁰) Prochy cienkie typu *BSP* nie detonują albo detonują tylko w sąsiedztwie spłonki z zapłonem wtórnym z 50 g kwasu pikrynowego wówczas, gdy gęstość ładowania $\Delta \leqslant 0{,}75$.

3⁰) Zdolność do detonacji wzrasta w miarę zwiększania gęstości ładowania. Przy $\Delta = 1$ detonacja może być całkowita *w kierunku postępowania detonacji* przy 50 g kwasu pikrynowego, o ile to pobudzenie wtórne posiada samo przez się maksymalną szybkość detonacji oraz gdy jego działanie odbywa się w kierunku prostopadłym do powierzchni płytek.

Działanie przez przekrój płytek posiada mniejszą skuteczność i 100 g kwasu pikrynowego o gęstości $\Delta = 1{,}45$, działając na proch *BSP* o $\Delta = 1{,}02$, wywołuje tylko bardzo niepełną detonację.

4⁰) Wywołanie detonacji może się odbyć na odległość przez powietrze.

Dla BM_9D_2 w opakowaniach przepisowych przy $\Delta = 1{,}15$, zapewne można wyznaczyć odległości w stosunku do ładunków według wzoru:

$$d = K_s C^{1/2} \quad \text{przy} \quad K_s = 0{,}06$$

d — wyraża się w metrach, C — w kilogramach, K_s oznacza tzw. współczynnik bezpieczeństwa.

Co się tyczy prochów pogrążonych w wodzie:

1⁰) Pobudzenie wtórne o sile 100 g materiału wybuchowego (kwasu pikrynowego) wywołuje pełne pobudzenie prochu $BM_9D_{1,25}$ całkowicie pogrążonego w wodzie.

2⁰) Sposób detonowania jest *niezmienny* w tym znaczeniu, iż detonacja rozchodzi się przez nieprzerwany rząd płytek prochowych na znaczną odległość od inicjatora (d ponad 4 metry).

3⁰) Zasłona z drzewa (ekran, ściana skrzyni) wstawiona jako przegródka w powyższej ścieżce płytek zawsze powodowała brak detonacji przy grubości ścianki 2 cm. Natomiast przy grubości 1 cm w 8-miu przypadkach okazał się brak detonacji, a w jednym przypadku nastąpiła pełna detonacja.

Co się tyczy prochów nitroglicerynowych:

Liczba doświadczeń była mniejsza, lecz wyniki okazały się bardziej zgodne między sobą:

1⁰) *Zdolność detonowania balistytu 50/50 pod wpływem spłonki.*

Dokonano 10-ciu prób ze spłonką oraz podsypką 50 g melinitu, wystarczającą do wywołania pełnej detonacji prochów B grubych (BM_9 do BM_{17}), przy normalnej wilgotności i przy gęstości ładowania ponad 1, z szybkością 6500 m/sek.

Wszystkie 10 prób dały wynik *ujemny.*

2 *próby* wykonane z pobudzaczem o sile 135 g (petarda modelu francuskiego „wz. 1886") *dały wynik dodatni.* Szybkość detonacji według pomiaru wyniosła przeciętnie:

$$\frac{7455 + 7668}{2} = 7561 \text{ m/sek}$$

W ten sposób ustalono, że balistyt 50/50 wykazuje mniejszą czułość na pobudzenie niż gruby proch B.

2⁰) *Zdolność detonowania prochów SD_{17}.*

6 prób zostało dokonane z inicjatorem z 50 g kwasu pikrynowego. *Wszystkie dały wynik ujemny.*

Wobec tego proch SD_{17} badanego typu okazuje się mniej czuły niż grube prochy B.

3⁰) *Zdolność detonowania zagranicznych prochów nitroglicerynowych.*

Prochy rurkowe nie detonują pod wpływem pobudzenia 50-o gramowego (4 próby).

Prochy wstążkowe dały detonację w tych samych warunkach

(szybkość detonacji: 7300 m/sek), jednak skład tych prochów, prawdopodobnie zmienny, jest nam nieznany.

Jedynym wywodem, jaki możnaby było sformułować, byłby następujący: „pewna liczba próbek prochów zagranicznych rurkowych nitroglicerynowych nie detonowała przy pobudzeniu 50 gramami mat. wyb., który w tych samych warunkach zapewnia detonację grubych prochów *B*".

4°) *Wywoływanie detonacji na odległość.*

Współczynnik bezpieczeństwa K_s znajdujący się w wyrażeniu:

$$d = K_s C^{1/2},$$

przedstawiającym prawo zależności odległości od ładunku, posiada następujące wartości:

$$K_s = 0{,}04 \text{ (proch } SD_{17})$$

$$K_s = 0{,}15 \text{ (balistyt 50/50)}$$

Wartość K_s dla BM_9 przyjmujemy jako;

$$K_s = 0{,}06$$

Biorąc pod uwagę małą liczbę doświadczeń wykonanych z prochami nitroglicerynowymi oraz niedokładność nieuniknioną pomiarów, można wywnioskować, że balistyt wydaje się bardziej skłonny do detonacji na skutek uderzenia fali powietrznej niż rurkowe prochy *SD*, te zaś ostatnie prawdopodobnie są mniej czułe niż proch *B*.

Zaznaczyć wypada, że wszystkie te detonacje, wywołane w ten sposób, spotrzebowały względnie znaczną ilość energii: minimum —

$$\frac{480 \times 30}{1000} \sim 14 \text{ ton m } (^6) \text{ działających na powierzchnię } 7 \text{ cm}^2$$

Stąd można byłoby przypuszczać, że prochy *B* różnią się wyraźnie pod względem swej wrażliwości na uderzenie od materiałów wybuchowych kruszących.

A jednak... bądźmy ostrożni i oględni.

Zaproponuję Panom dokonanie następującego doświadczenia ([7]): nałóżmy wiązki prochu BM_9 o gęstości ładowania 1,15 do drewnianej skrzyni o wymiarach 10 × 45 cm i o grubości ścianek 1,5 mm. Umieśćmy dluższą oś skrzyni poziomo w ten sposób, ażeby móc wycelować z odległości 20 metrów z karabinu do środka kwadratowej ścianki; wiązki prochu zostaną odsłonięte przez usunięcie drewnianej ścianki. Karabin wybierzemy wz. 86 (8 mm frs) i zmontujemy go z bombą manometryczną powszechnie używaną w laboratoriach do badań korozji.

Ma się więc do czynienia z komorą spalania, której pojemność jest dziesięciokrotnie większa od pojemności normalnej łuski i zbliżona do pojemności przewodu lufy; w oznaczeniu balistycznym: $c = 2$

Jeżeli do tej broni wprowadzić pocisk z czerwonej miedzi wagi 7,5 g, posiadający przedni cylindryczny pierścień wiodący o średnicy $d = 8{,}1$ mm oraz tylny pierścień wiodący o profilu francuskiej kuli *D*, otrzymamy szybkość V_{10}, wprawdzie nieco zmienną, lecz w każdym razie taką, która dochodzić może do 1.034 m/sek, przy ładunku 13,5 g prochu $BN_3F\,A\acute{e}$ i 1.292 m/sek przy ładunku 18,5 g.

W szczególności przy ładunkach od 14 do 15 g otrzymywaliśmy szybkość średnią 1.122 m/sek, przy czym pocisk dosięgał płytek prochu prostopadle do ich płasków i dawał 5 detonacji oraz 1 deflagrację na ogólną liczbę 6 doświadczeń.

Płytki prochu uderzone wzdłuż ich płasków dały 2 deflagracje na 2 wykonane doświadczenia: w innym znów doświadczeniu zauważyliśmy 2 detonacje i 2 deflagracje (całość 4 próby) dla szybkości 1.300 metrów.

Zwrócę uwagę przy sposobności, iż potrzeba mniej energii, ażeby wywołać detonację uderzając płytki prostopadle do ich płasków niż w kierunku ich płasków. Czyli to, cośmy już zaznaczyli w przypadku zapłonu za pomocą spłonki.

Energia mechaniczna pobudzająca detonację tak w jednym, jak i w drugim przypadku równa się 0,462 tonmetr. na powierzchnię 0,5 cm^2. Inaczej mówiąc, uderzenie mechaniczne pocisku karabinowego w osiągniętych warunkach doświadczenia może wywołać detonację prochu *B* średniej grubości, jeżeli jego energia wynosi około 0,5 tonmetr.

Jakiż więc wniosek wyciągniemy z zestawienia tych faktów, jeżeli wzbraniamy się od wysnuwania teorii.

Wniosek będzie jednak taki, że energia potrzebna do wywołania tego samego zjawiska: „detonacji prochu *B*" zmienia się od pojedynczej do dwukrotnej siły dla danej jednostki powierzchni, zależnie od rodzaju tej energii (fala mechaniczna lub fala uderzeniowa) oraz w zależności od sposobu jej zastosowania (płytki prochu zaatakowane w kierunku ich płasków lub prostopadle do nich).

W każdym bądź razie ilość energii, brana pod uwagę sama w sobie, nie może wystarczyć do scharakteryzowania wrażliwości materiału wybuchowego. Poza tym, o ile prochów koloidalnych nie zaliczamy pod względem ich wrażliwości na bodziec mechaniczny— w poczet materiałów wybuchowych najmniej wrażliwych, nie można

ich jednak wyłączać z zakresu możliwych porównań, co streszcza następująca tablica:

Klasa, do której należy mat. wybuch.	Rząd wielkości energii mechanicznej, zapewniającej 50% prawdopodobieństwa detonacji, kgm	Uwagi
Proch B	450	
Baw. strzelnicza z 20% H_2O lub alkoholu	> 135	
Mat. wyb. z azotanem amonu bez nitrogliceryny	9 do 135	Wrażliwość zmienna, zależna od składu.
Nitrozwiązki: trójnitrozwiązki: tetryl kw. pikrynowy trotyl dwunitrozwiązki	 3 do 8 7 „ 12 10 „ 30 > 30	Wrażliwość zmienna, wahająca się w zależności od czystości mat. wybuchowego oraz od wymiarów kryształów
Pikryniany metali	od 0,60 do 43,5	Zmienna: od pikrynianu ołowiu — 0,6 i srebra — 0,7 do pikrynianu wapnia — 43,5.
Mat. wyb. chloranowe	0,700 do 2	Wrażliwość zmienna zależnie od składu, od sposobu ich powlekania i od stopnia rozdrobnienia.
Trójnitrorezorcynian ołowiu: obojętny — zasadowy —	1,200 1,200	
Azotek ołowiu	1,200	
Pentryt suchy	0,750 do 1,200	
Proch SD z 65% nitrogliceryny	0,750 do 1,200	Wrażliwość waha się zależnie od wymiarów kryształów.
Trójnitro-jednoazydobenzen	1	
Piorunian rtęci	0,700	
Dwuazodwunitrofenol	0,500	
Nitrogliceryna	0,400	

Przygodnie wskazałem, że przy pewnych doświadczeniach ze strzelaniem z karabinu do prochu B otrzymaliśmy deflagrację zamiast detonacji.

Fakt ten jest bardzo znany. Określają go zależnie od okoliczności jako „niewypał", „niewybuch„ itp.

Zauważyć się on daje często wówczas, gdy użyje się spłonki o niedostatecznej mocy (Vieille: Badania B. S.) i w kopalniach, gdzie jako przyczynę ustalono najczęściej niedokładne założenie spłonki, przypadkową niewrażliwość materiału wybuchowego lub wreszcie niedokładność uszczelnienia.

Lecz zjawiskiem, które daje się zauważyć mniej często, jest deflagracja masowa znacznych ilości materiałów wybuchowych pod wpływem intensywnego uderzenia fali, mogącej jeszcze wywołać efekty mechaniczne z odległości kilku dziesiątków kilometrów, w przypadku gdy materiał wybuchowy okazuje się szczególnie wrażliwy na pobudzenie.

Zauważyliśmy to zjawisko w warunkach wyjątkowo emocjonujących 4 czerwca 1918 roku w składzie materiałów wybuchowych Crau d'Arles. Skład ten zawierał:

1. Grupę budynków *A* złożoną z dwóch równoległych rzędów, każdy o 27 budynkach, przy czym przeciwległe budynki po dwa były zwrócono frontami do siebie.

Odległości pomiędzy dwoma sąsiednimi budynkami były:

30 metrów (mierzonych od ściany do ściany),
42 metrów od frontu do frontu.

Pomiędzy dwoma przeciwległymi budynkami odległość wynosiła:

40 metrów od frontu do frontu,
60 metrów od osi do osi.

2. Grupę budynków *P* złożoną z dwóch linii równoległych rzędów po 5 budynków w każdym, rozmieszczonych w szachownicę z odstępami po 50 metrów we wszystkich kierunkach.

Grupa *P* znajdowała się na odległości 195 metrów od grupy *A*, przy odmierzeniu odległości między budynkami najbardziej zbliżonymi i 285 metrów od tejże grupy przy odmierzeniu odległości od osi kolejki obsługującej składy.

54 budynki grupy *A* zawierały materiały wybuchowe różnego rodzaju (nitrozwiązki, mat. wyb. azotanowe, chloranowe), spośród których ilościowo górował kwas pikrynowy i mieszanki melinitowe (MTTC, MDN, MP, MMN itp.) za wyjątkiem jednak wszelkich prochów koloidalnych i prochu czarnego.

Budynki nie były równomiernie zajęte. W ogólnej sumie zawierały one 6.500 ton materiałów wybuchowych.

Przeciętny więc ładunek jednego budynku wynosił:

$$\frac{6.500}{54} \sim 120 \text{ ton.}$$

Z drugiej strony, dochodzenie wykazało, że maksymalny ładunek budynku pojedynczego nie przekraczał 150 ton.

10 budynków grupy *P* nie zawierało nic poza materiałami wybuchowymi, należącymi do typu melinitu w opakowaniach przepisowych (baryłki drewniane). Załadowanie ich ogólne było około 1.700 ton.

Na skutek przyczyn, których rozpatrywanie w tej chwili nas nie interesuje, 46 budynków grupy *A* detonowało w masie (albo ściślej mówiąc w odstępach ułamków czasu zbyt krótkich, ażeby móc wywołać wrażenie kolejności wybuchów).

Na miejscach po budynkach utworzyły się na skutek zgniotu gleby i podglebia leje o rozmaitych wymiarach, dosięgających 30 m średnicy przy 5 do 6 metrach głębokości.

8 budynków tej samej grupy zostało spalone: miejsce po nich odznaczone pozostało przez nienaruszone platformy, które stanowiły podłogę.

10 budynków grupy *P* okazało się odporne wobec pobudzenia do detonacjii — spaliły się one bez wybuchu.

Nie zadziwię Panów, jeżeli powiem, że postaraliśmy się wydobyć wszelkie możliwe wnioski z tej katastrofy, przeprowadzając obszerne badania doświadczalne nad detonacją wywołaną z odległości, postawione w sposób taki, by stało się możliwe ustalenie przepisów bezpieczeństwa warsztatów, składów oraz parków magazynujących materiały wybuchowe. ([8])

Badanie to wykazało, niestety nieco za późno, że zjawiska ujawnione w Crau d'Arles, aczkolwiek były wstrząsające, nie miały same w sobie nic zadziwiającego.

Niezależnie od wszystkiego dziś jeszcze uważamy za rzecz godną zastanowienia się sam widok palących się budynków, z których każdy zawierał w sobie 180 ton nitrozwiązków wybuchowych i to bez żadnej skłonności do spotęgowania szybkości spalania się.

Streścimy się:

Opisaliśmy obserwacje tyczące się efektów uderzeń rozmaitego

rodzaju w stosunku do materiałów wybuchowych względnie mało wrażliwych. Uderzenia te mogą powodować:

— detonację prochów, wyrabianych specjalnie dla ich deflagracji,
— deflagrację materiałów wybuchowych w ścisłym tego słowa znaczeniu, wyrabianych w celu wykorzystania ich właściwości wybuchowych przez detonację.

Moglibyśmy również przytoczyć wybuchy, w czasie przebiegu których fala wybuchowa przeistaczała się w falę deflagracyjną w łonie masy materiału wybuchowego oraz gdy detonacja następowała po zwykłym spalaniu się.

Jednakże czyniąc to nadużyłbym być może uwagi Panów i sądzę, że ciekawsze będzie rozpatrywanie serii zjawisk odwrotnych, czyli deflagracyj przeistaczających się w detonacje; zjawisk, które obejmują materiały wybuchowe znajdujące się na drugim krańcu dziedziny wrażliwości na uderzenie.

Rzeczywiście, jest to fakt godny podkreślenia, że materiały wybuchowe mało wrażliwe na uderzenie mechaniczne nie posiadają własności detonowania w masie na skutek zwykłego zapalenia, przy warunku jednak braku w nich wszelkiego zanieczyszczenia mogącego je uczulić (jak np. obecność tlenków lub pikrynianów ołowiu w kwasie pikrynowym, obecność pewnych zanieczyszczeń w topionym trotylu itp.).

Daliśmy tego dowód na przykładzie faktów zaobserwowanych przy katastrofie w Crau d'Arles. Inne pamiętne wypadki wykazały nam również aż nazbyt wyraźnie, że magazyny zawierające 60 ton prochów koloidalnych spalają się normalnie nie wywołując detonacji.

Lecz na drugim krańcu szeregu mat. wybuchowych, w dziale piorunianów, azotków jak również w materiałach wybuchowych chloranowych zjawisko rozwija się inaczej.

Jeżeli nie były przedsięwzięte specjalne środki zapobiegawcze w celu rozproszenia energii cieplnej, wytwarzającej się na skutek spalania się i w miarę jej wyprodukowania, to stwierdzić można niezawodnie, że detonacja nie omieszka nastąpić przy wystarczającej ilości materiału wybuchowego.

Warunki, w których można zauważyć okres deflagracji poprzedzający detonację, powinny być określone dla każdego poszczególnego materiału wybuchowego.

Tak więc dla materiałów wybuchowych chloranowych, przy zwykłej temperaturze i ciśnieniu atmosferycznym, przyśpieszenie

spalania się jest względnie słabe do tego stopnia, że wszelkie doświadczenia zapłonienia dokonane na masach poniżej 100 kg nie dały nigdy detonacji — przynajmniej o ile to nam jest wiadome.

Było to prawdziwą niespodzianką, gdy w czasie poszukiwania przyczyn katastrofy w Crau d'Arles wywołaliśmy przez podpalenie nieoczekiwaną detonację pozostałej resztki materiału wybuchowego w ogólnej ilości ładunku 300 kg. ([9])

Bardzo szybko zauważyliśmy, że zjawisko to można systematycznie powtarzać z materiałami wybuchowymi tego rodzaju.

Rozpatrzmy teraz kolejno materiały wybuchowe według zwiększającej się wrażliwości, aż do najbardziej wrażliwych.

Masy, jakie należy pobudzić do rozkładu, aby osiągnąć zjawisko detonacji, powinny być coraz to mniejsze jak również coraz krótszy jest czas trwania zapłonienia wstępnego aż do chwili, w której to ostatnie przeistoczy się w zjawisko nieuchwytne do zaobserwowania.

W ten to sposób Berthelot mógł napisać: ([10]) „piorunian detonuje w próżni od zetknięcia się z drutem z mosiądzu rozpalonym do czerwoności, lecz detonacja nie rozprzestrzenia się na ziarnka niestykające się z drutem, jak to zachodzi pod ciśnieniem atmosferycznym".

Berthelot się omylił. Oto w jaki sposób zdaliśmy sobie z tego sprawę.

Nazajutrz po ukończeniu wojny światowej do Laboratorium Komisji Naukowej Materiałów Wybuchowych napłynęły liczne tematy badań.

Odzwierciadlały one dwa główne zagadnienia:

1. Jak zabezpieczyć przechowanie olbrzymich ilości materiałów wybuchowych, pozostałych po wojnie i jak zapewnić bezpieczeństwo ich magazynowania.

2. W jaki sposób dać możność przemysłowi cywilnemu wykorzystanie tej masy nagromadzonej energii, czy to drogą odpowiednich przekształceń, czy też drogą zastosowania do robót użyteczności powszechnej wobec szerokiego pola do pracy, otwierającego się na skutek powrotu pokoju.

W ten sposób nasze prace miały za temat badanie rozkładu najprzeróżniejszych materiałów wybuchowych, a w szczególności — wyszukanie najprostszego równania najbardziej przydatnego do wyrażenia stanu środowiska po przejściu przez niego fali wybuchowej.

W czasie tych poszukiwań wywołaliśmy za pomocą spłonek z piorunianem detonację ładunków wybuchowych, podwieszonych w kadzi o pojemności około 100 litrów, w której mogliśmy wytworzyć względną próżnię.

Niewypały zdarzały się stosunkowo rzadko, o ile pozostające ciśnienie wewnątrz kadzi było większe niż kilkanaście cm, co było również trudne do zrealizowania ze względu na to, że dla zapewnienia szczelności kadzi była ona umieszczona pod wodą.

Natomiast niewypały stawały się coraz to częstsze, w miarę gdy próżnia się zwiększała. Z tego faktu jednak na razie nie zdawaliśmy sobie sprawy jak również z pewnej zależności istniejącej pomiędzy tymi dwoma zmiennymi czynnikami.

Należy wspomnieć, że w owym okresie, to znaczy od 1924 do 1926 r. nie mieliśmy innego punktu zapatrywania, jak orzeczenie Berthelota w stosunku do sposobu, w jaki się zachowuje piorunian rtęci przy zetknięciu się z zapłonnikiem. Trudności doświadczalne w ten sposób pomogły nam w końcu wyświetlić sprawę, ponieważ przez dłuższy czas przypisywaliśmy niewypały niedokładnościom zmontowania i dopiero systematyczne badanie doprowadziło nas do odkrycia mechanizmu zjawiska.

Powyżej wspomniane badanie zostało streszczone w pewnej ilości notatek jeszcze nie podanych do powszechnej wiadomości, lecz przedstawionych Komisji Naukowej Prochów i Materiałów Wybuchowych p. t. „Wpływ ciśnienia na rozpad przez nagłe podniesienie temperatury (szybkie nagrzewanie w krótkim przeciągu czasu) w jednym punkcie masy materiałów wybuchowych".

Zresztą sam Komitet, któremu przedstawiliśmy nasze pierwsze wyniki badań, polecił nam prowadzenie dalszych dociekań skierowanych ku ustaleniu warunków, w jakich fala zwykłego spalania się może przeistaczać się w „falę uderzenia i spalania".

Bawełna strzelnicza, kwas pikrynowy, proch nitrocelulozowy BF, nitrogliceryna, masy zapałowe wydobyte ze spłonek elektrycznych, piorunian rtęci i azotek ołowiu poddane zostały naszym badaniom, mającym na celu, o ile możności, oznaczenie granic ciśnień, dla których zauważyć można zmianę w układzie rozpadu.

Otrzymaliśmy w ciągu 1932 roku następujące wyniki, przy czym materiał wybuchowy był ładowany w powłokę wyjątkowo mało odporną (papier, cienka tektura, tektura z azbestu).

Mat. wybuchowy, masa, gęstość	Krańcowa wysokość ciśnienia (mm rtęci), przy której zauważa się:			Rodzaj zapłonu i ilość prób
	Detonację	Deflagrację	Brak deflagracji	
Kw. pikrynowy 11 g	—	—	Ciśnienie atmosferyczne	Drut z wolframu ∅ 2/10, dług. 12 mm. Stopienie wewnątrz mat. wybuchowego za pomocą prądu 21 amperów. (4 próby)
Nitrogliceryna 19 g	—	—	jak wyż.	Jak wyżej (7 prób)
BF	—	145	139	Jak wyżej (7 prób)
Bawełna strz. o 13% N sucha 0,5 g	—	79,5	72	Drut stalowy ∅ 1/10, dług. 30 mm (31 prób)
Mieszanka zapałowa do zapalników elektrycznych rodanek Cu : 50 chloran Ca : 50 1 g	2	—	—	Zapalnik elektryczny do detonatora (11 prób)
Piorunian rtęci 0,3 g o gęstości — 4,02	—	254	15	Drut stalowy ∅ 1/10, dł. 30 mm
Piorunian rtęci 0,3 g o gęstości grawimetrycznej (tj. gęstości luźnego zsypywania)	28	—	15	Jak wyżej
Piorunian rtęci 1,5 g (gęstość grawimetryczna)	41	—	36	Jak wyżej

Co się tyczy azotku ołowiu to sądzimy, że pożyteczne będzie zagłębienie się w pewne szczegóły:

1. *Próba Nr 3* (14 XII 1932 r.).

Ciężar użytego azotku: 1 g.

Ciśnienie — poniżej 1 mm rtęci.

Materiał poddany topieniu posiadał nast. cechy:

Średnica: 45/1000 mm; | skryte ciepło topnienia: 68 kal./g.

Długość: 2,3 mm ± 0,1; | ciepło właściwe: 0,127 kal./g.

Temperatura topnienia: 1.360^0; przewodnictwo termiczne: 0,06 kal./g./cm^2/cm/sek.

Opór elektryczny — 48 mikroomów.

Po zapłonieniu wcale nie następuje deflagracja.

Powłoka materiału wybuchowego wydaje się nienaruszona. Nosi ona wszakże na ściankach wewnętrznych ślady czarne, które po bliższym zbadaniu okazały się bez wszelkiej wątpliwości nalotem ołowiu. Zapalnik wykazuje, że prąd elektryczny podniósł temperaturę substancji do punktu sąsiadującego z temperaturą topnienia albo jej równego.

Odłamek substancji okazał się nie całkowicie stopiony. Służy on jako oprawa do perły z azotku mającej 0,5 mm średnicy i ważącej $^1/_{10}$ miligrama. Perła ta koloru czarnobrunatnego w styku z topliwem stanowi dowód początku rozpadu, bez przekazania pozostałości masy azotku, która jest nie tknięta.

2. *Próby Nr Nr 53, 56, 59 i 60* (17 listopada 1933 r.):

Zapalniki jak w poprzednim doświadczeniu z tą jednak różnicą, że zostały one dobrane z oporem pomiędzy 0,95 i 1-ym omem.

Prąd poniżej 45 wolt. Napięcie 1 amper.

Ciśnienie równe $^1/_{20}$ mm rtęci wyrażone za pomocą rurki spiętrzającej (pomiar ciemnej przestrzeni Hittorfa).

Przy zapłonieniu zauważa się wzrost ciśnienia: to ostatnie przechodzi z $^1/_{20}$ mm do $^1/_{10}$ mm.

Następnie stwierdzono, że masa azotku nie tkniętego zawiera grudki ziaren, z których niektóre są względnie dość znacznych wymiarów barwy szaro-czarnej. Zostały one zbadane — są to cząstki azotku mniej lub więcej rozłożone.

Powyższe zjawiska rozpatrzone z największą starannością wydają się nam dostatecznie ustalonymi, tym bardziej że zaprosiliśmy do przyjęcia udziału w naszych doświadczeniach licznych badaczy, a pośród nich Henry Le Chateliera.

Od tej chwili, dokonywując syntezy wyników ponad 200 prób, ośmielam się wypowiedzieć następującą regułę [11]): „poniżej pewnego krańcowego ciśnienia rozpad masowy (przez deflagrację lub przez detonację) prochów albo materiałów wybuchowych nie może być pobudzony przez zetknięcie z płomieniem lub ciałem rozpalonym, jeżeli ta styczność jest krótkotrwała".

Powyższy wywód sformułowany w sposób bardzo ogólnikowy — zbyt może nawet ogólnikowy — (bo gdzież znajdziemy badacza, który jako entuzjasta swojej idei nie będzie skłaniał się do uogólniania

wniosków z otrzymanych wyników) był poddany wątpliwości. Nie kwestiowano jego słuszności jedynie w przypadku materiałów wybuchowych, służących do napełniania pocisków jak również w przypadku piorunianu.

Coprawda w tym samym czasie (1931—1933 r.) badania tyczące się piorunianu pomnożyły się po laboratoriach i wszystkie zmierzały do zreformowania twierdzenia Berthelota.

Tak np. Laffitte w końcu 1931 roku oznajmił w jednym ze swych odczytów: „Detonacja piorunianu nie wydaje się być momentalną; pewien okres deflagracji poprzedza detonację".

W październiku 1933 r. ([12]) Schumacher ogłasza sprawozdanie o niedetonacji piorunianu nagrzanego w próżni na metalicznej płycie.

Z drugiej zaś strony mogliśmy uzupełnić nasze próby i w marcu 1934 r. wykonać doświadczenie następujące: przy ciśnieniu atmosferycznym i przy gęstości $d = 4{,}10$ piorunian rtęci spala się w sposób równomierny z szybkością 1 cm na sekundę, co zmierzone zostało na przestrzeni około pół centymetra. Owa szybkość zdaje się maleć w miarę zmniejszania się gęstości. ([13])

Natomiast dla azotku ołowiu powstała pewna sprzeczność, gdyż inni badacze wprowadzili w grę szereg własnych bardzo dokładnych spostrzeżeń, znajdujących się w sprzeczności z naszymi obserwacjami.

Spostrzeżenia te zostały ogłoszone przez Muraoura i Schumachera, ([14]) który wywnioskował: „istnieje podstawowa różnica w sposobie, w jaki się zachowuje azotek ołowiu oraz piorunian rtęci. Azotek detonuje przy każdym uderzeniu, nawet w próżni rzędu $^1/_{10}$ mm rtęci przy najmniejszych ładunkach 0,03 g. Piorunian srebra zachowałby się podobnie".

Henry Le Chatelier, który był obecny przy naszych doświadczeniach, widział azotek ołowiu pozostający nienaruszonym po zapaleniu, które wywołało zaledwie zapoczątkowanie reakcji (czego była dowodem obecność metalicznego ołowiu w masie azotku ujawniona po próbie), nie był wszakże całkowicie przekonany co do prawidłowości naszego uogólnienia, co wyraził w liście, jaki wystosował do mnie 23 listopada 1933 r. List ten rozpoczyna się w nast. sposób:

„Drogi Kolego, nie jestem zupełnie przekonany co do analogii, jaką Pan chce przeprowadzić pomiędzy zapłonieniem pod słabymi ciśnieniami azotku ołowiu i zapłonieniem piorunianu rtęci.

Mówi Pan zresztą, iż zjawiska są znacznie mniej wyraźne. Istotnie nie zdołał pan osiągnąć deflagracji azotku ołowiu tak, jak się ją otrzymuje dla piorunianu. Zauważył Pan zaledwie tylko ślady reakcji. Nie jest konieczne, ażeby wszystkie materiały wybuchowe miały zachowywać się w jednakowy sposób..."

W ostatniej analizie, na co zwrócił uwagę Le Chatelier, był podkreślony nie tyle niezaprzeczony pierwszy fakt, iż nie zdołaliśmy poddać kryształów azotku temperaturze wyższej ponad 1.300^0 przez zetknięcie z drutem metalicznym, przy czym rozpad zapłonionego przy zetknięciu azotku nie rozprzestrzenił się na masę, lecz drugi fakt, że nie dostarczamy dowodu, iż możemy według życzenia—tak jak dla piorunianu — wywołać detonację, deflagrację, albo niezapalenie drogą prostej zmiany warunków doświadczenia.

Wszelki spór, jaki się wyłania na tle dobrze zaobserwowanych zjawisk na skutek drobiazgowo dokonanych przygotowań doświadczalnych, daleki jest od bezpłodności.

W danym przypadku, wydaje się, że należy przypisać rozbieżność zdań tyczących się sposobu, w jaki się zachowuje azotek ołowiu, pewnemu czynnikowi zmiennemu, który—i tu leży niewątpliwie nasz błąd—omieszkaliśmy przyjąć pod uwagę w naszych pierwszych próbach, mianowicie: stan czystości azotku.

Muraour operował z kryształami przygotowanymi specjalnie dla doświadczenia, my zaś posiłkowaliśmy się w Sévran azotkiem technicznym i nie jest wykluczone, że produkt mógł zawierać w sobie pewną zawartość azotku sodu. Możliwe też jest, iż azotek ołowiu samorzutnie w czasie przechowywania uległ powierzchownym przekształceniom, np. przez działanie dwutlenku węgla z atmosfery, tworząc cienką powłokę węglanu ołowiu.

Nie prowadziliśmy dalej sporu. Natomiast wydało się nam ciekawym poddanie próbom innego materiału wybuchowego inicjującego, wyjątkowo wrażliwego: trójnitrorezorcynianu ołowiu.

Próby przeprowadzone w laboratorium pod przewodnictwem prof. Urbaina przez p. Grünsteina, były prowadzone w nast. sposób:

Uważano próbę za decydującą nie wówczas, gdy materiał wybuchowy detonował pod ciśnieniem zmniejszonym — co mogło być przypisywane niedokładnościom doświadczalnym—lecz wówczas, gdy rozprzestrzenienie się detonacji na całą masę, które nie nastąpiło w próżni, wytwarzało się jednak z chwilą, gdy ciśnienie stawało się znów normalne.

Do tych prób, nie licznych, nić platynową nagrzewającą zastąpiono drucikiem chromelowym o $^4/_{10}$ mm$\emptyset$.

Produkty przechowywane w wodzie, z racji ich niezwykłej wrażliwości w stanie suchym, były umieszczone w miseczkach i suszone w obecności kwasu siarkowego w eksykatorze tym samym, w jakim dalej miały być badane.

Próba 1: suszenie w ciągu 24 godzin. Zapłonienie w próżni o 1 cm rtęci wywołuje gwałtowną detonację, która rozbija miseczkę.

Próba 2: Jak wyżej. Detonacja rozbija miseczkę oraz podstawę aparatu umieszczonego w eksykatorze.

Próba 3: Jak wyżej. Podstawa z bloku korkowego jest również zniszczona.

Próba 4: Wszelkie środki zostały przedsięwzięte, ażeby zapewnić możliwie najlepsze wysuszenie produktu.

a) Produkt doskonale wysuszony, umieszczony w próżni o 1 cm rtęci. Ujawnia się deflagracja, wydziela się światło, a część produktu jest po prostu przerzucona na drugą stronę miseczki.

b) Z chwilą gdy powraca ciśnienie atmosferyczne i pokrywa jest zdjęta, przekręca się miseczkę tak, ażeby drucik zagłębił się w pozostałą masę materiału wybuchowego Zapłonienie daje wyraźnie suchą i gwałtowną detonację nie pozostawiającą po sobie najmniejszej cząstki produktu.

W identycznych warunkach doświadczenia piorunian rtęci pozostał nienaruszony przy zetknięciu z rozpalonym drucikiem.

A zatem trójnitrorezorcynian ołowiu wyraźnie różni się od piorunianu, natomiast już pod próżnią, odpowiadającą 1 cm słupa rtęci, jest możliwe zaobserwowanie deflagracji zamiast wyraźnej detonacji.

Czyż byłoby to zjawiskiem przypadkowym, czy też trójnitrorezorcynian ołowiu podporządkowywał się regule granic detonacji?

Jedno tylko doświadczenie jest oczywiście niewystarczające, ażeby móc stwierdzić, że istnieje pewna granica detonacji i, zdaniem naszym, byłoby bardzo ciekawe zbadanie zjawiska przy ciśnieniach poniżej 1 cm rtęci. Będzie to tematem prac przyszłych, aczkolwiek samo istnienie granicy detonacji, odpowiadającej tak słabym ciśnieniom, posiada znaczenie czysto spekulatywne.

Natomiast, zastanawiając się nad zależnością, jaka mogłaby istnieć pomiędzy wrażliwością materiału wybuchowego na pobudzenia mechaniczne a istnieniem owej granicy (chociaż nitrogliceryna znajduje się na najniższym szczeblu skali wrażliwości i poza sferą, w której można zapłonić materiał wybuchowy pod ciśnieniem atmo-

sferycznym przez momentalne stopienie drucika metalicznego), postawiliśmy sobie pytanie, czy dla pewnej kategorii materiałów wybuchowych dokładnie określonych, wykazujących łatwo dającą się obserwować wrażliwość na uderzenie, a jednocześnie wyraźnie różną dla każdego z nich—możnaby związać wrażliwość z zasięgiem granic wybuchowości.

Skierowaliśmy nasz wybór na pikryniany metaliczne. Przyrządzono 20 pikrynianów metali najbardziej rozpowszechnionych w użyciu. Były one oczyszczone i sprawdzone w laboratorium prof. Urbaina. Następnie zostały one poddane próbom kafarkowym i ułożone podług określonej w ten sposób wrażliwości ich na uderzenie:

— najbardziej wrażliwe (*Pb*, *Ag*) deflagrują przy uderzeniu 0,7 kgm.

— średniej wrażliwości (*Sr*, *Ba*, *K*, *Fe*, *Li*, *Cu*, *Na*, NH_4, *Cd*) deflagrują pomiędzy 7,5 i 14,5 kgm.

— materiały wybuchowe o słabej wrażliwości (*Hg*, *Co*, *Ni*, *Mn*, *Cr*, *Zn*) deflagrują pomiędzy 20 i 29 kgm.

— materiały wybuchowe o bardzo słabej wrażliwości (*Ca*, *Mg*, *Al*) deflagrują od pracy większej nad 40 kgm.

W wykonaniu p. Champetiera, wyżej wymienione pikryniany, po uprzednim ich wysuszeniu, zostały poddane bombardowaniom katodowym za pomocą następującego układu doświadczalnego:

Elektrony były wydzielane przez nitkę wolframową, nakrytą soczewką dającą ognisko o powierzchni 2 mm^2 na antykatodzie utworzonej z płytki metalicznej w postaci czepca, pokrywającego rurkę szklaną ochładzaną wodą bieżącą. Na owej płytce metalicznej umieszcza się maleńkie oczko tłuszczu wielkości główki od szpilki podtrzymujące badany kryształ pikrynianu.

Antykatoda jest na ziemi. Napięcie przyśpieszające elektronów waha się od 10,000 do 15,000 woltów.

Zaznaczamy przy tej sposobności, że aparat został zbudowany, tak żeby ułatwić uzyskanie próżni katodowej oraz odpowiednie umiejscowienie materiału wybuchowego poddawanego doświadczeniom.

W powyżej opisanych warunkach wszystkie pikryniany zbadane (alkaliczne i ziem alkalicznych) pozostały nie tknięte.

Przygotowawszy kryształy pikrynianów:

$$Na — NH_4 — Cd — Co — Ni — Mn — Zn — Ca — Mg$$ [1])

[1]) Za wyjątkiem pikrynianów bardzo wrażliwych na uderzenie (*Pb*, *Ag*).

i umieszczając je na druciku z wolframu o długości 10 mm i o średnicy $^{3}/_{100}$ mm, również skonstatowaliśmy, pod ciśnieniem atmosferycznym, że nagrzewanie drucika metalicznego do temperatury czerwoności (bez doprowadzenia do topnienia) nie wywołuje nic poza deflagracją pikrynianu umiejscowionego w sąsiedztwie samego drucika, wyjąwszy przypadek pikrynianu *Mg*, przy którym zauważono syczenie, rozpryskiwanie oraz rozkład bardzo posunięty naprzód, aczkolwiek nie zupełny.

Co zaś się tyczy pikrynianu *Pb*, to p. Grünstein, po przygotowaniu z wielką starannością, oczyszczeniu i zidentyfikowaniu pikrynianu zasadowego ołowiu, poddał go próbom deflagracji wybuchowej drogą bezpośredniego zapalania, pod ciśnieniem atmosferycznym i w próżni, za pomocą ostrza platynowego o $^{3}/_{10}$ mm, doprowadzonego do białego żaru przez prąd elektryczny o 5 amperach, zanurzanego przy doświadczeniu w badany proszek.

Ładunek tego proszku dosięgał wagi około 60 mg, co było wystarczające, ażeby wywołać na wolnym powietrzu gwałtowny wybuch z wydzieleniem czarnej sadzy (utworzonej z węgla i ołowiu).

W powyższych warunkach trzy serie prób przyniosły jednakowe wyniki:

— na powietrzu detonacja kompletna;

— w próżni zapłonienie identycznego ładunku wywołało, przy zetknięciu z zapalającym drutem i dookoła, przestrzeń obwodową o promieniu od 3 do 4 cm, pokrytą sadzą, odpowiadającą rozkładowi pikrynianu przez ciepło wydzielające się z drutu; na zewnątrz tego koła pikrynian był *nie naruszony.*

Z chwilą, gdy ciśnienie atmosferyczne zostało przywrócone, pozostałą część substancji zebraną naokoło platynowego drutu przez rozżarzenie drutu doprowadzono do głośnego wybuchu natychmiastowego *całej masy.*

A więc pikrynian zachował całkowicie swe własności wybuchowe.

Czy istnieje możliwość stopniowania efektów wybuchu według warunków doświadczalnych i ustalenia metody określania wrażliwości, która jako kryterium podawałaby granice detonacji?

Odpowiedź na to pytanie nie jest jeszcze możliwa przy dotychczasowym stadium rozwoju naszych badań.

Streszczamy się:

Materiały wybuchowe znajdujące się w użyciu praktycznym, w tej liczbie pewne materiały stosowane do spłonek — jeżeli nie

wszelkie materiały wybuchowe potocznie używane do zapłonu — są zdolne spalać się albo deflagrować zanim nastąpi zjawisko detonacji.

Czas trwania i szybkość tego poprzedzającego okresu są funkcjami licznych i zmiennych czynników, z których najważniejszymi są: stan fizyczny materiału wybuchowego, gęstość uzyskana przez sprasowanie materiałów sproszkowanych, ciśnienie gazu, w łonie którego zachodzi zapłonienie.

Zmienność tych parametrów wówczas, gdy przechodzi się od jednego materiału wybuchowego do innego, mogłaby, być może, posłużyć do skonkretyzowania pojęcia wrażliwości materiału wybuchowego; pojęcia nadzwyczaj płynnego, pomimo że makroskopijnie narzuca się ono najmniej wytrawnym badaczom, obserwującym efekty rozmaitych sposobów pobudzenia (płomień, uderzenie, spłonka detonująca, samo-pobudzenie).

Wnioski.

Zapowiedziałem na wstępie niniejszego odczytu wykład faktów z pominięciem wszelkiej próby ustalenia teorii rozwoju reakcji wybuchowej.

Byłbym szczęśliwy, gdyby owa teoria powstała w umysłach Panów jako skutek uwagi, którą Panowie zechcieli poświęcić tym faktom. Uwaga ta powinna doprowadzić do porównań z osobistymi doświadczeniami i pobudzić Panów do dalszych dociekań.

Ze swej strony pozwolę sobie przedstawić tu sedno moich zapatrywań pod tym względem.

Nasze doświadczenia stanowią tylko przyczynek do źródeł mogących służyć do zbudowania tej teorii; materiały te zostały określone dzięki staraniom położonym na ustalenie tożsamości pomimo ich niezwykle skomplikowanej struktury.

Matematyk by orzekł, iż są to funkcje kilku — wielu nawet — zmiennych. Ażeby posłużyć się nimi jako punktem wyjścia do nowej teorii, należy wprowadzić w grę różniczki. Analiza zjawisk winna więc dzięki temu zyskać na ścisłości, przyrząd zaś badawczy wygrać na potędze. Nasze wysiłki są właśnie obecnie skierowane ku udoskonaleniu tego przyrządu.

Pod względem praktycznym, z przedstawionych faktów można wyciągnąć szereg pożytecznych wniosków:

— Wytwórca materiałów wybuchowych i prochów może z powodzeniem znaleźć w nich podstawy do ulepszenia jakości swoich wyrobów, jak również i co do ustalenia bezpieczeństwa ich fabrykacji.

— Inżynier uzbrojenia może dostosować wyciągnięte z tych faktów wskazania w odniesieniu do zabezpieczenia magazynowania oraz stosowania materiałów wybuchowych w służbie lądowej jak również na pokładzie okrętów.

Czyż potrzeba ażebym wypowiedział, jak wielkie byłoby moje zadowolenie z nabytej świadomości, iż zdołałem zainteresować przedstawicieli obydwu wspomnianych dziedzin i że mogłem stać się pożyteczny w wypełnieniu powierzonego im zadania, które się wyraża w słowach:

wytwarzać — przechowywać — wykorzystać

te olbrzymie zasoby energii bez obawy opłakiwania wydarzeń, niestety zbyt często katastrofalnych, jakie pociąga za sobą gwałtowne i nieprzewidywane wyzwolenie tej energii.

LITERATURA

(1) Archiwum Komitetu Naukowego Prochów i Materiałów Wybuchowych: Prace Laboratorium Komisji Naukowej Substancji Wybuchowych oraz prof. Urbaina.

(2) Marinesco: Compt. rendus de l'Acad Sc. Nr 24, 2 XII 1935 r.

(3) Vennin, Burlot, Lecorche: „Les Poudres et Explosifs" — str. 213 i nast.

(4) Urbański: „O wrażliwości materiałów wybuchowych na uderzenie". Przemysł Chemiczny 1936 r., Wiad. Tech. Uzbrojenia Nr 38 (1937 r.).

(5) Burlot: „Etude de la C. S. E. Nr 306 rapport Nr 305.
„ „ „ „ Nr 279 „ Nr 377.

(5') Urbański i Galas: Wiad. Techn. Uzbr: Nr 34, 501 (1935).

(6) Burlot: Potencjał wojskowych mat. wyb.: Mémorial de l'Art. Fr. 1935 r. str. 787 i następne.

(7) Burlot: Styczeń 1919, Etude Nr 48. Procès verbal Nr 117. Mémorial de l'Art. Fr. — 1930 — str. 897.

(8) Burlot: Mémorial de l'Artilerie Française—1930—str. 800 i nast.

(9) Burlot: Archives des I. E. E. T. P. sierpień 1918.

(10) Berthelot: „Force des matières explosives" III wydanie 1883, tom I str. 85.

11) Burlot: Compt. rendus de l'Acad. Sc. 197, Nr 21, (20 XI 1933 r.).

(12) Shumacher: Compt. rendus de l'Acad. Sc. 197, Nr 17 (23 X 1933 r.).

(13) Burlot: Komitet Naukowy Prochów i Materiałów Wybuchowych. Sprawozdanie Nr 147.

(14) Schumacher: loco cit.

623.451.81 + 623.472.3

Inż. JAN OBRĘBSKI.

TEORIA I PRAKTYKA OBRÓBKI CIEPLNEJ ARTYLERYJSKICH POCISKÓW PRZEBIJAJĄCYCH

Różnica pocisków artyl. od kb. pod względem twardości. Zdolność przebijania jako pochodna właściwości mechanicznych. Możliwość uzyskania łagodnego spadku twardości na skorupie pocisku. Zależność twardości od temperatury hartowania. Liniowy wzrost temperatury. Nagrzewanie sztabki. Rozkład twardości w masie skorupy pocisku. Ustalona i nieustalona równowaga przy nagrzewaniu skorupy. Szybkość oziębiania. Skład stali jako regulator twardości. Praktyka obróbki cieplnej pocisków przeciwpancernych. Rozważania o małych kalibrach. Całkowite i częściowe hartowanie oraz częściowe odpuszczanie. Wymagane typy stali. Zakończenie.

Jeżeli czynię podział na pociski artyleryjskie (działowe) i pociski, a raczej rdzenie pocisków, karabinowe, to z tego względu, że rdzenie wykonywane są w całej masie jako *jednakowo twarde*, podczas gdy pociski działowe, pociski z *komorą*, wykonywane są tak, że ostrołuk jest twardy, część zaś cylindryczna stopniowo coraz to miększa ku dennej części pocisku. Ta właśnie *modulacja twardości*, ta naturalna konieczność uzyskania łagodnego przejścia od twardego ostrołuku do miękkiej cylindrycznej części, wreszcie wpływ komory na termiczne zjawiska występujące podczas hartowania, wszystko to wyodrębnia w sposób jaskrawy pociski *przebijające działowe*.

Gdy się podchodzi do jakiejś produkcji, trzeba od razu zdać sobie sprawę, jakie czynniki wchodzą w grę, czyli jakie mamy *zmienne*. Przyjmując, że *kształt* skorupy jest ustalony, uznamy ten czynnik za *stały*. Gdy mówię „kształt", to rozumiem jednocześnie i kaliber.

Pozostają teraz następujące zmienne:

Rodzaj stali wyrażający się *składem chemicznym*.

Sposób obróbki cieplnej, czyli *przebieg ogrzania i oziębiania*.

Właściwości mechaniczne w poszczególnych punktach skorupy.

Zdolność przebijania jest pochodną właściwości mechanicznych. Tak jest niezawodnie. Możemy każdorazowo zadać sobie jakąś wymaganą czy upragnioną *zdolność przebijania*. Jeżeli postawimy wymagania konkretne i nie zadamy warunków niewykonalnych, to będziemy już mieli jasno określony cel, do którego zmierzamy.

Dla przykładu podam, że celem naszym może być *przebijanie blachy pancernej o danym składzie i danych właściwościach mechanicznych* z odległości *zadanej*, np. 100 m przy strzale prostopadłym i przy grubości blachy 30 mm.

Jeżeli wytworzymy taki pocisk, który blachę opisaną będzie *przebijał na wylot*, to spełnimy nasze zadanie, ale (należy specjalną na to zwrócić uwagę) nie dowiemy się wszystkiego o walorach naszego pocisku. Nie dowiemy się dla tej prostej przyczyny, że jest on, być może, zdolny do przebicia grubszej jeszcze blachy.

Jeżeli pocisk nie przebija danej blachy, to też nie wiele o nim wiemy. Nie wiemy mianowicie, jaką jest istotna zdolność przebijania?

Stąd płynie reguła dla *istotnej oceny pocisku*.

Istotna ocena pocisku.

Jeżeli miernikiem będzie *zdolność przebijania* blach stalowych, to musimy każdorazowo ustalić, *jak grubą blachę pocisk jeszcze przebija, a jak grubej już nie może przebić*. Jeżeli dojdziemy do wniosku, że pocisk przebija blachę 32 mm, a nie może przebić blachy 34 mm, to zdolność jego *przebijającą* wyrazimy w sposób wyraźny.

Nie trzeba już chyba mówić o tym, że jakość blach pancernych, przeznaczonych do badań pocisków, musi być *ściśle określona*.

Wykonanie takich wzorcowych blach musi być potraktowane b. poważnie.

Rozwiązywanie zadania.

Jeżeli opracowanie *kształtu* pozostawimy na boku, to pozostają dwa czynniki decydujące: *stal i obróbka cieplna*. Trzeba być wielkim znawcą stali i wielkim znawcą obróbki cieplnej, aby zaproponować z góry jakieś rozwiązanie. Pierwszy krok musimy oprzeć na wyczuciu albo doświadczeniu innych.

Celem niniejszej pracy jest opisanie takich metod, które *pozwalają na stawianie pierwszych kroków w sposób świadomy*, na przeprowadzenie pewnej *kalkulacji*, na *przewidzenie wyników*.

Zagadnienie jest trudne, ale racjonalne podejście do tego zagadnienia, podejście z wiarą w naukę i z pogardą dla „sztuczek" majsterskich może otworzyć na oścież podwoje możliwości.

Można powiedzieć śmiało, że łagodne przejście od części twardej do części miękkiej pocisku *jest warunkiem koniecznym*. I praktyka i proste rozumowanie doprowadzają nas do przekonania, że warunek *łagodnego przejścia* jest warunkiem kardynalnym.

Poddajmy tedy rozważaniu możliwości *uzyskania łagodnego spadku twardości od ostrza pocisku ku denku tegoż.*

Na razie będziemy rozważali twardość mierzoną jedynie na powierzchni, aczkolwiek decydują stopniowania twardości jak wzdłuż tworzących, tak i w kierunku normalnym do powierzchni pocisku.

W danym punkcie, obranym na powierzchni, możemy umieścić początki wektorów, których kierunkami będą: styczny do tworzącej powierzchni i normalny do tej tworzącej, wielkościami zaś—elementarne przyrosty (znak + lub —) twardości w każdym z tych kierunków. Dwa te wektory będą miały wypadkową, a ta wypadkowa będzie nam charakteryzowała przebieg zmian twardości.

Zupełnie podobne rozważania można przeprowadzić dla każdego punktu skorupy pocisku, nie leżącego na powierzchni.

Pozostawmy jednak na boku te przestrzenne rozważania, a przejdźmy do omówienia znacznie łatwiejszego problemu.

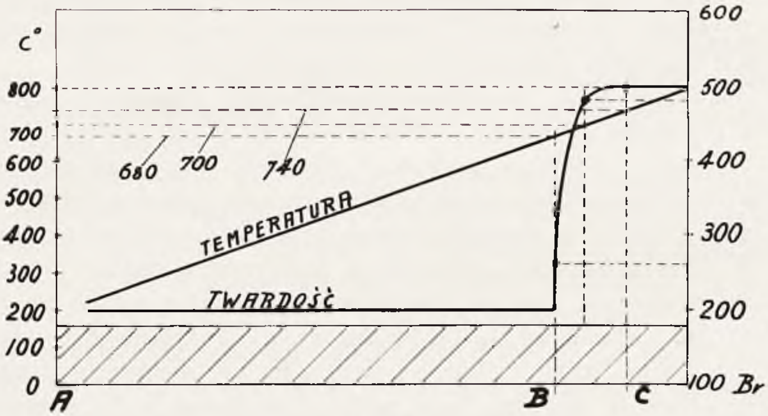
Sztabka o małym przekroju.

Wyobraźmy sobie, że mamy sztabkę o przekroju np. 1 cm^2. Zakładamy sobie, że twardość w dowolnie wybranym przekroju będzie jednakowa na całym przekroju. Natomiast zadaniem naszym jest takie zahartowanie sztabki, aby jeden jej koniec był bardzo twardy, drugi bardzo miękki, a przejście twardości *jak najłagodniejsze.*

Pierwszym środkiem, jaki się narzuca, jest możliwie liniowe nagrzanie sztabki. tj. takie nagrzanie, przy którym wzrost temperatury od jednego końca ku drugiemu wyrażałby się linią prostą.

Chcę podkreślić, że nie podobna wyobrazić sobie bardziej równomiernego wzrostu temperatury niż liniowy. Taki teoretyczny rozkład temperatury wzdłuż sztabki musimy więc uznać za *ideał.* Popatrzmy, co się da osiągnąć w tym idealnym wypadku.

Otóż zjawiska hartowania (wzrostu twardości) *rozpoczynają* się dopiero po przekroczeniu punktu przełomowego Ac1. Między punktami przełomowymi Ac1 i Ac3 leży obszar, w którym może być zaobserwowany wzrost twardości, natomiast powyżej punktu Ac3 będziemy mieli, po zahartowaniu sztabki, praktycznie stałą twardość. Na rysunku 1-ym pokazane jest wykreślenie to, co opisałem przed chwilą.



Rys. 1.

Pole zakreskowane — to sztabka stalowa. Linia prosta z napisem „temperatura" odzwierciadla *liniowy wzrost temperatury* od 200° (jeden koniec sztabki) do 800° (drugi koniec sztabki).

Stal badana miała punkty przełomowe Ac1 = 680° i Ac3 = 740°.

Przed hartowaniem sztabka miała twardość około 200 st. Br.

Jakiej twardości można się spodziewać po nagrzaniu sztabki liniowym i zahartowaniu?

Odkładamy na osi temperatur 680° i 740° i przeprowadzimy przez te punkty linie poziome (przerywane) do przecięcia z prostą „temperatura".

Z punktów przecięcia prowadzimy linie pionowe, które to linie wyobrębniają na sztabce obszar B—C, w którym i jedynie w którym możemy się spodziewać mniej lub więcej łagodnego wzrostu twardości od około 200 st. Br. do około 500 st. Br.

Hartowanie małych próbek przy Ac1 + 5°, Ac3 + 5° i przy pośredniej temperaturze między Ac1 i Ac3, np. przy 700° da nam trzy punkty, wystarczające do wykreślenia krzywej twardości sztabki.

Przyjrzyjmy się na rys. 1-ym linii „twardość".

1) Na odcinku sztabki AB twardość jest stała, jako że hartowanie nie zaszło i zajść nie mogło, gdyż temperatury na tym odcinku nie przekroczyły temperatury Ac1.
2) Na odcinku sztabki BC obserwujemy dość nagły wzrost twardości.
3) Maksymalna twardość uzyskana w punkcie C utrzymuje się już do końca sztabki.

Dochodzimy do wniosku bardzo doniosłego, a mianowicie: *Idealnie stopniowane nagrzewanie sztabki wywołuje, po jej zahartowaniu, wysoce niełagodne zmiany twardości.*

Oczywista, że nagrzanie odbiegające od liniowego, zwiększy jeszcze bardziej kontrastowość zmian twardości.

Jeżeli chcemy zwiększyć odcinek BC, na którym odbywa się przejście od twardości minimum do twardości maximum, to musimy zmienić pochylenie linii „temperatura".

W wypadku szczególnym, gdy jeden koniec sztabki będzie posiadał temperaturę 680°, a drugi temperaturę 740°, przejście od twardości minimum do twardości maximum odbędzie się na całej długości sztabki.

Łatwo zauważyć, że nagrzanie długiej sztabki w taki sposób, aby temperatura zwiększała się na długości od 680° do 740° (różnica 60° zaledwie) nie należy do zadań łatwych.

Rozważania nasze doprowadzają nas jeszcze do innego wniosku, a mianowicie:

Przejście od twardości minimum do twardości maximum może być wywołane tylko i jedynie na tym odcinku, który jest nagrzany od temperatury Ac1 na jednym końcu do temperatury Ac3 na drugim.

Tak proste i nawet prymitywne szkicowe rozpatrywanie możliwości dało nam już wiele, a dać może jeszcze więcej przy odrobinie uwagi i spostrzegawczości. Pomyślmy, co będzie, gdy temperatury Ac1 i Ac3 zbliżą się znacznie ku sobie. W krańcowym wypadku Ac1 może zlewać się z Ac3, a wtedy odcinek B—C na rys. 1 musi skurczyć się do zera. Stąd wniosek:

Im dalej leżą od siebie temperatury punktów przełomowych Ac1 i Ac3, tym łatwiej można uzyskać łagodne przejście od twardości minimum do twardości maximum.

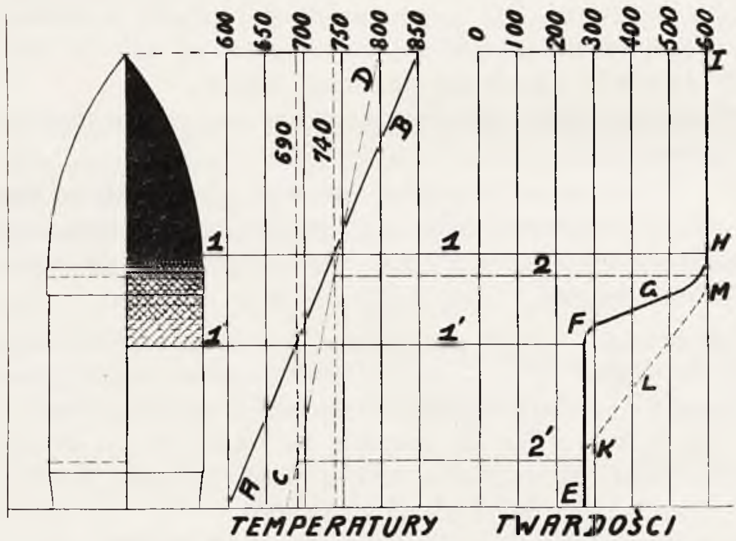
Dla sztabki wykonanej ze stali, która ma temperatury Ac1 i Ac3 jednakowe lub bardzo zbliżone, przejście od twardości minimum do twardości maximum będzie wyjątkowo raptowne.

Wydaje mi się, że wnioski wyżej przytoczone już wyprowadzają nas z dziedziny „wyczuwania" i „zgadywania", a wprowadzają do dziedziny rachunku i przewidywania.

Przyglądając się rysunkowi 1-mu możemy powiedzieć, że:

1) Znając punkty przełomowe stali, co jest kwestią wykonania zwykłego wykresu dilatometrycznego, możemy ściśle określić miejsce i długość odcinka BC, na którym odbędzie się przejście od najmniejszej do największej twardości, jeżeli podana lub założona zostanie krzywa (lub prosta) temperatur nagrzania sztabki.
2) Dla znanej stali możemy założyć z góry wymagane ulokowanie i długość odcinka BC, a wtedy znajdziemy konieczny przebieg temperatur nagrzania sztabki.
3) Przy zadanych: odcinku BC i rozkładzie temperatur możemy dobrać stal, która da wynik z góry założony.

Przejdźmy teraz do *powierzchniowej* (na razie możemy rozważać ten tylko element) twardości skorupy pocisku przebijającego (rys. 2). Niech *temperatury powierzchni* skorupy rozkładają się linio-

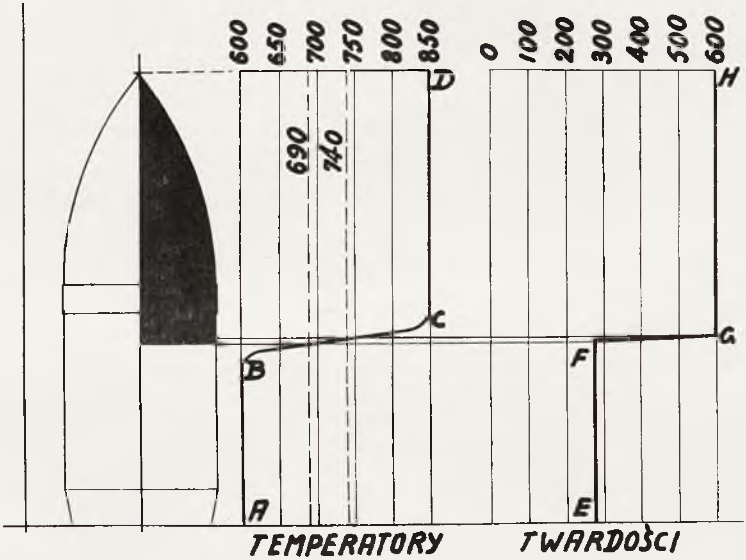


Rys. 2.

wo (linia A—B). W tym idealnym wypadku i dla stali, której $Ac1=690^0$ i $Ac3=740^0$ uzyskamy stałą twardość maximum od ostrza do poziomu „1", następnie przejście od twardości maximum do

twardości minimum w pasie „1—1′" i twardość minimum poniżej tego pasa. Zmieniając pochylenie prostej temperatur z A—B na C—D, rozszerzymy pas przejścia i obniżymy go, co wskazują linie przerywane „2—2′". Jeżeli dana stal w stanie znormalizowanym daje twardość 280 st. Br., a w stanie hartowanym daje twardość 600 stopni Br., to zmiany twardości powierzchni skorupy wyrażą się linią EFGHI dla nagrzania wg prostej A—B i linią EKLMHI dla nagrzania wg prostej C—D.

W warunkach warsztatowych przebieg temperatur nagrzania odbiega znacznie od prostolinijnego i wygląda, w przybliżeniu, jak linia ABCD na rys. 3. Nie trudno ustalić, że pas przejścia będzie bardzo wąski, a przebieg twardości na powierzchni będzie się charakteryzował linią EFGH.



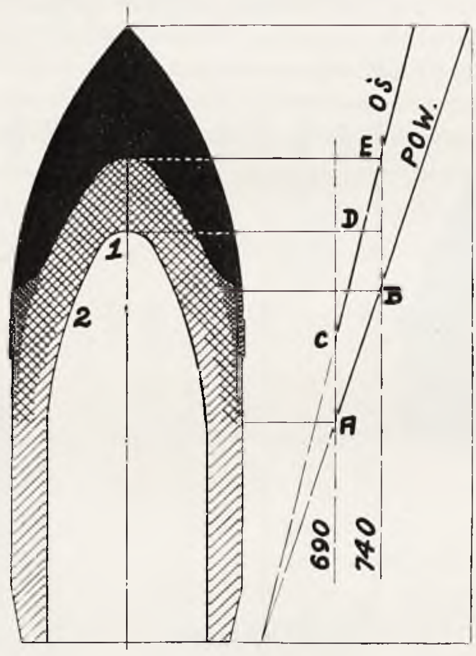
Rys. 3.

Przy sposobności zauważę, że na rysunkach 2-im i 3-im mniejsza lub większa twardość wyraża się stopniem zakreskowania. Miejsca całkowicie zaczernione posiadają twardość *maximum*.

Rozkład twardości w masie skorupy.

Dotychczas mówiliśmy o rozkładzie twardości na powierzchni skorupy. Teraz postaramy się rozważyć przebieg twardości w całej masie.

Załóżmy, że skorupy są grzane (do hartowania) od zewnątrz, natomiast wnętrze (komora) pozostaje w zetknięciu z powietrzem o temperaturze, jaka panuje w hartowni. Będziemy wtedy mieli doprowadzanie ciepła do powierzchni zewnętrznej skorupy i odprowadzanie ciepła od powierzchni komory. Po pewnym czasie niech ustali się pewna równowaga i niech trwa ona przez czas nieograniczony. Zakładamy na razie idealną równomierność przejścia temperatur, czyli linjowy rozkład temperatur jak dla powierzchni zewnętrznej (prosta POW), tak i dla osi geometrycznej skorupy (prosta OŚ) (rys. 4).



Rys. 4.

Przeprowadzenie linji przerywanych, oznaczonych liczbami 690 i 740 (temperatury punktów przełomowych dla danej stali) da punkty przecięcia A, B, C i E. Prowadzimy linie poziome z punktów A i B. Odrazu możemy powiedzieć, że:

1) Do poziomu „A" będziemy mieli twardość minimum.
2) Od poziomu „A" do poziomu „B" będziemy mieli wzrost stopniowy twardości do maximum.
3) Od poziomu „B" do ostrza będziemy mieli stałą twardość maximum.

Taki rozkład twardości będzie na powierzchni.

Teraz rozważymy, jaki będzie rozkład twardości wzdłuż osi skorupy.

Poziom „C" nie interesuje nas, gdyż na tym poziomie nie ma materiału, a przypada komora (mówimy o osi geometrycznej). Materiał zaczyna się w miejscu „l" czyli na poziomie „D". Poziom ten przecina linię „OS" w punkcie „D". Punkt ten leży między temperaturami Acl i Ac3.

Poziom „E" odgranicza temperatury leżące powyżej Ac3.

Jeżeli więc na powierzchni skorupy temperatury Ac3 i wyższe zostają osiągnięte już na poziomie „B", to na osi geometrycznej skorupy temperatura Ac3 i wyższe zostają osiągnięte dopiero na poziomie „E" znacznie wyższym. Tym samym temperatury Ac3 i wyższe będzie posiadał obszar całkowicie zaczerniony. Jeżeli założymy, że stal hartuje się dobrze w głąb, to możemy powiedzieć, że w całkowicie zaczernionym obszarze będzie panowała twardość maximum. Twardość ta będzie spadała ku dołowi i wnętrzu skorupy, jak to pokazuje intensywność kreskowania. Wzrost twardości wnętrza skorupy może rozpocząć się dopiero od poziomu „2", a dno komory nie osiągnie twardości maximum, gdyż nie osiągnie temperatury Ac3. Dla naszych rozważań założyć też musimy, że hartowanie odbyło się przy całkowitym zanurzeniu do cieczy chłodzącej skorupy i że przehartowanie w głąb jest doskonałe.

O ustalonej i nieustalonej równowadze przy nagrzewaniu skorupy.

Przy danym urządzeniu warsztatowym do nagrzewania podlegającej hartowaniu skorupy można przeprowadzić nagrzewanie do całkowitego ustalenia się równowagi, albo można wyjąć skorupę po pewnym czasie nagrzewania przed ustaleniem się równowagi i wtedy ją zahartować.

Jako pierwszy przykład: nagrzewam kąpiel solową do temperatury 820^0, zanurzam do niej skorupę ostrzem w dół i na głębokość z góry zadaną, po czym utrzymuję stan opisany tak długo, aż ustali się pewna równowaga między dopływem ciepła do skorupy i jego odpływem nazewnątrz. Każdy z punktów, dowolnie dobrany w masie skorupy, przybierze pewną temperaturę, a ta zostanie niezmienną dopóty, dopóki temperatura soli w wannie, głębokość zanurzenia skorupy i temperatura otoczenia pozostaną niezmnienne.

Jako drugi przykład: urządzenie identyczne. Ustalamy, że równowaga da się osiągnąć po 15-tu minutach przebywania skorupy

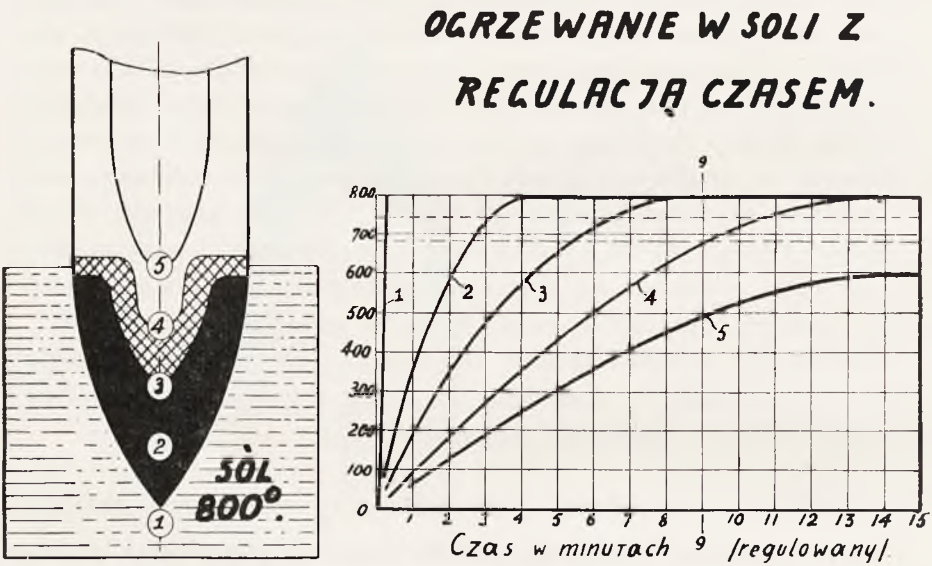
w urządzeniu grzejnym. Mimo to wyjmujemy skorupę po upływie 9-ciu minut i hartujemy.

Zaznaczam, że ogrzewanie w kąpieli solowej podałem jako jedno z możliwych rozwiązań. Istotą zaganienia nie jest tu samo urządzenie, lecz moment wyjęcia skorupy z urządzenia grzejnego, a więc:

a) Wyjęcia po ustaleniu się równowagi lub

b) Wyjęcia przed ustaleniem się równowagi.

Zobrazowanie zjawiska, jakie obserwujemy podczas opisanych wyżej metod pracy, przedstawia rysunek 5.



Rys. 5.

Wyobraźmy sobie, że oś skorupy (odcinek jej w obrębie materiału) podzielimy na 4 równe części i oznaczymy otrzymane punkty cyframi 1, 2, 3, 4 i 5. Cyfrą 1 oznaczone będzie ostrze, a cyfrą 5 oznaczone będzie dno komory. Dla ostrza (punkt 1-szy) warunki nagrzewania będą idealne, gdyż zerowa (teoretycznie) masa skorupy w tym punkcie nie utrudni (przez przewodnictwo) dopływu ciepła z soli do materiału, odprowadzenie zaś ciepła będzie słabe (teoretycznie żadne), ponieważ pole przekroju poziomego skorupy w miejscu teoretycznego ostrza jest równe zeru. Praktycznie biorąc samo ostrze będzie się nagrzewało wybitnie szybko.

Dla punktu 2 będziemy mieli gorsze warunki ogrzewania, gdyż

osłania go pewna masa metalu, a odprowadzenie ciepła ku punktowi 5 jest korzystniejsze.

Rozważając warunki ogrzewania punktów 3, 4 i 5 dojdziemy łatwo do wniosku, że będą te warunki tym gorsze, im wyżej leży dany punkt.

Odtworzenie opisanego przebiegu nagrzewania i umieszczenie termopar w punktach 1 do 5, tudzież pomiar temperatur, przeprowadzany co kilka sekund dla każdego z punktów, należy zaliczyć do badawczych eksperymentów bardzo łatwych.

Odrobina systematyczności wystarczy, aby wyniki pomiarów były całkiem pewne.

Jeżeli tak, to wykreślenie krzywych nagrzewania dla każdego z punktów (funkcja temperatury soli i funkcja czasu nagrzewania staje się funkcją jedynie czasu przy stałej temperaturze soli) nie może nastręczyć trudności. Trzeba jedynie dysponować dużym zbiornikiem soli stopionej, aby zanurzenie skorupy nie wywołało odczuwalnego spadku temperatury soli.

Szereg takich krzywych pokazano właśnie na rys. 5 przy założeniu, że po 15-tu minutach równowaga zostaje osiągnięta.

Czas osiągnięcia równowagi będzie oczywiście zależny od kształtu i masy skorupy (kalibru i kształtu) oraz od temperatury otoczenia, składu stali itp. czynników, które można uważać za stałe i dla danego rodzaju warsztatu, i danego rodzaju skorupy.

Dwie linie przerywane, odpowiadające temperaturom 690^0 i 740^0 (czyli temperaturom Acl i Ac3), przecinają, lub nie, nasze krzywe ogrzewania 1, 2, 3, 4 i 5. Jak się rzekło, po 15 minutach ustali się już równowaga. Ale możemy zadać sobie pytanie, co będzie się działo na osi skorupy po 9-ciu minutach? Łatwo na to odpowiemy prowadząc prostą pionową 9 — 9.

Dowiadujemy się niezbicie z naszego wykresu, że punkty 1, 2, 3 osiągną temperaturę wyższą od Ac3; między punktem trzecim a czwartym temperatury będą zawarte między Ac3 i Acl. Nakoniec między punktami 4-tym i 5-tym temperatury będą niższe od Acl.

Łatwo odgadnąć, że powierzchnia nagrzeje się do temperatury 800^0 prawie do poziomu soli, a do temperatury Acl (690^0) nieco ponad poziom soli.

Mając te zasadnicze dane co do rozkładu temperatur możemy powiedzieć, że

1) W obszarze całkowicie zaczernionym będzie panowała temperatura nie niższa od temperatury Ac3.

2) W obszarze kratkowanym będzie panowała temperatura stopniowo spadająca ku górze, jednak zawarta między Ac3 i Acl.
3) Nakoniec w obszarze nie kreskowanym będzie panowała temperatura niższa od Acl i łagodnie spadająca ku części dennej.

Stąd już prosty wiosek, że hartowanie da duże wartości w obszarze całkowicie zaczernionym, twardości stopniowo malejące ku górze (a więc ku części dennej) w obszarze kratkowanym i twardości takie, jakie były przed hartowaniem, — w części nie kreskowanej.

Jeżeli teraz zechcemy wprowadzić korektę na: 1) Niegłębokie przehartowywanie się w głąb danej stali i 2) Oziębienie cieczą hartującą tylko od zewnątrz, to będziemy musieli:

Pozostawiając granicę obszarów opisanych na powierzchni skorupy, obniżać je nieco we wnętrzu i to tym więcej, im bliżej osi. *Mowa oczywiście o obszarach charakteryzujących pewną trwardość.*

Szybkość oziębiania.

Dotąd badaliśmy jedynie rozkład temperatur w masie pocisku.

Rozkład ten jest sprawą pierwszorzędnej wagi, gdyż najszybsze nawet oziębienie nie wywoła wzrostu twardości, jeżeli temperatura nagrzania nie przekraczała bodaj punktu przełomowego Acl.

Również najszybsze nawet oziębienie nie da możliwej (dla danej stali) maksymalnej twardości w tych miejscach, gdzie temperatura była wyższa od Acl, lecz niższa od Ac 3.

Nakoniec nawet najszybsze oziębienie nie podniesie ani na jotę twardości w tych miejscach, które nie osiągnęły temperatury Acl.

Pamiętając o tym, co mówiliśmy wyżej, przejdźmy teraz do kwestii szybkości oziębiania.

Ponieważ zmniejszenie szybkości oziębiania po za krytyczną wywołuje spadek twardości hartowanej stali, więc możliwość operowania tym właśnie czynnikiem jest bardzo cenna. Innymi słowy, możemy regulować rozkład twardości i szybkością oziębiania.

Zwracam uwagę na to, że napisałem: „i szybkością oziębiania”. Chcę bowiem stale przypominać, że istnieją potężniejsze czynniki, jak rozkład temperatur przy równowadze ustalonej i rozkład temperatur przy równowadze nieustalonej.

Regulator ten jest po części w rękach naszych, po części zaś w rękach natury. Możemy zastąpić olej wodą, możemy zbudować aparat zapewniający tej wodzie szybki przepływ (zwiększenie inten-

sywności oziębiania), możemy oziębiać skorupę od zewnątrz i nie oziębiać jej od wewnątrz, możemy nawet izolować wnętrze komory materiałem źle przewodzącym ciepło i zmniejszyć odprowadzenie tego ciepła do minimum, ale nie możemy wywierać wpływu na przewodnictwo cieplne stali, dopóki nie zmienimy jej składu.

Ten fakt, że przewodnictwo stali nie jest tak wielkie, jak przewodnictwo np. glinu, staje się częstokroć naszym sprzymierzeńcem. Można jednak wskazać przypadki, w których zwiększenie przewodnictwa byłoby korzystne.

Tak czy inaczej, przewodnictwo stali jest czymś, na co wpłynąć nie możemy. Jeżeli nie możemy wpłynąć i na przewodnictwo stali (cieplne oczywiście) bez zmiany jej składu, to nie możemy, tym samym, dobrowadzić szybkości oziębiania jakiegoś punktu skorupy, leżącego na pewnej głębokości pod powierzchnią, do z góry zadanej. Tym samym możemy nie uzyskać wymaganej twardości w tym punkcie.

Jeżeli uzyskanie tej twardości jest niezbędne, to musimy dobrać inny skład stali.

Ponieważ rozkład masy metalu w skorupie pocisku przebijającego jest wysoce nierówny, więc zmiana składu stali może wpłynąć dodatnio w jednym miejscu i zgubnie—w drugim.

Wtedy wysunie się na plan pierwszy operowanie temperaturami nagrzania (mowa tu o rozłożeniu temperatur w masie skorupy). Nasuwa się jeszcze jedna koncepcja, a mianowicie podział skorupy na strefy i stosowanie dla każdej strefy innego czynnika chłodzącego.

Wyobraźmy sobie np., że w pewnym zbiorniku nalana jest woda, a na nią warstwa oleju. Ponad warstwą oleju znajduje się warstwa powietrza. Jeżeli teraz zanurzymy do tej kąpieli nagrzaną odpowiednio (na całej długości jednakowo) sztabkę stali, to część tej sztabki będzie oziębiana wodą (intensywnie), druga część olejem (mniej intensywnie) i reszta powietrzem (najmniej intensywnie).

Takie teorytyczne rozważanie nie da się przenieść na warsztat, gdyż nieruchome płyny hartują w sposób zawodny, poza tym stałe używanie takiej wanny doprowadziłoby do powstania emulsji z oleju i wody wskutek mieszania podczas pracy.

Jako druga koncepcja może być wysunięty pomysł natrysku tak skonstruowanego, aby ilość wody, spadająca na jednostkę hartowanej powierzchni, podlegała regulacji. Intensywność oziębiania można wtedy dość ściśle regulować i dostosowywać do wymagań końcowych dla twardości.

Skład stali jako regulator twardości.

Jak już wspominaliśmy, takie właściwości stali, jak:

1) zdolność przehartowania się wgłąb,
2) mniejsze lub większe rozstawienie punktów Acl i Ac3,
3) mniejsza lub większa krytyczna szybkość oziębiania,
4) dawanie mniejszych lub większych twardości po zahartowaniu,
5) przewodnictwo cieplne —

mogą być szeroko wykorzystane przy rozwiązaniu zagadnienia.

Praktyka obróbki cieplnej pocisków przeciwpancernych.

Czytelnicy mogą mi uczynić zarzut, że pisałem o hartowaniu, a nie pisałem o odpuszczaniu. Wszak istnieje jeszcze metoda hartowania całego pocisku (skorupy) i odpuszczania „od dołu", czyli od części dennej, tak aby twardość łagodnie spadała od ostrza ku części dennej.

Tym dziwniejsze jest moje milczenie w tej sprawie, że całkowite zahartowanie i następnie odpuszczenie przy pewnej zmiennej (zmienność w kierunku osi skorupy) temperaturze może dać wyniki stokroć razy doskonalsze od tych, jakie stosujemy przy metodach wyżej opisanych.

Jeżeli chodzi o struktury, to i te będą korzystniejsze.

Rozpatrzmy jednak, co należałoby uczynić, aby rozkład twardości (zadany) uzyskać jedynie na drodze odpuszczania. Załóżmy też, że wymagana jest jakaś twardość maksymalna ostrza, np. 600 st Br.

Powiemy sobie tak:

1) Musimy mieć w pewnych miejscach 600 st. Br., a więc zahartujemy całą skorupę na tę twardość, a potem będziemy odpuszczali, tak aby zadane twardości były uzyskane.
2) Zaoszczędzimy sobie wszelkich kłopotów przy grzaniu. Skorupy będą grzane do jednakowej temperatury w całej swej masie.
3) Hartowanie będzie też proste, gdyż całą skorupę będziemy oziębiali jednakowo, np. przez zanurzenie do oleju.
4) Cała nasza uwaga skupi się jedynie na aparaturze do odpuszczania.

Wszystko to wygląda pięknie, ale w praktyce może doprowadzić do katastrofy. Nie zapominajmy, że maksymalne twardości,

jakich wymaga praktyka, są bardzo wysokie. Tym samym hartowanie musiałoby być ostre, a ostre hartowanie całej skorupy dałoby to, że...... zbieralibyśmy „odłamki" naszej skorupy.

Wydaje mi się więc, że nagrzewanie do jednakowej temperatury całej skorupy i hartowanie całej skorupy w jednakowych warunkach, po czym manipulowanie tylko odpuszczeniem *jest rozwiązaniem nie zawsze nadającym się do wykorzystania praktycznego.*

Nie mniej będę rozważał nadal grzanie całkowite z tym, że nie będzie ono wiązane z całkowitym hartowaniem.

Rdzenie pocisków karabinowych, jako bezkomorowe i wybitnie małe, pomijam. Grzeją się one całkowicie i hartują całkowicie.

Małe kalibry.

Pociski działowe lub pociski n. k. m. zaopatrzone w komory (a więc pociski o kształcie artyleryjskich), jednak małokalibrowe, wykonywane są zwykle w wielkich ilościach. Produkcja takich pocisków jest produkcją wybitnie masową. Przy masowej produkcji trudne indywidualne ogrzewanie częściowe stanowić musi ogromny szkopuł, to też dla bardzo małych kalibrów całkowite grzanie masowe ma pewien urok, a rozwiązanie hartowania częściowego z nagrzania pełnego warte jest trudu.

Pewien nakład pieniężny i przemyślane rozwiązanie ciągłego (łańcuchowego) podgrzewania ostrołuków za pomocą palników gazowych też może doprowadzić do masówki, jednak wymaga specjalnych urządzeń i w byle jakim piecu uskutecznić się nie da. Ponadto zamiana kalibru czy kształtu odrazu wywołuje konieczność przeróbek w istniejącej instalacji i ponownego jej nastawiania na optimum wyników.

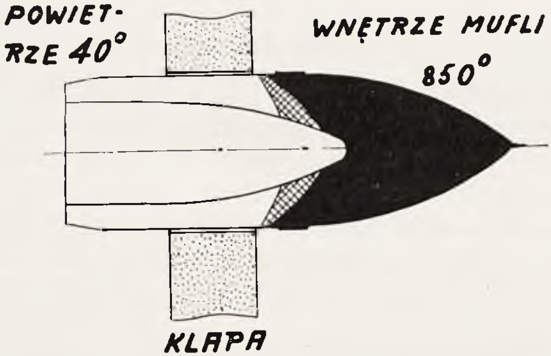
Kalibry od 75 mm wzwyż.

Jest rzeczą watpliwą, aby takie pociski mogły być, bodaj ze względu na koszt jednej sztuki, produkowane masowo. Produkcja ich jest raczej seryjna. Nie mniej chałupnicze metody hartowania muszą być zastąpione metodami przemysłowymi, a przemysłową metodą nazwać można jedynie taką, która *daje pewne, dobre i jednakowe wyniki* bez stałego uciekania się do geniusza hartownika-cudotwórcy lub bez konieczności szkolenia personelu pracującego „na czucie".

Uważam również, że można i należy wyrugować wszystko, co pachnie „ślusarszczyzną" i stworzyć zupełnie nowoczesne warunki

pracy, przy których opieralibyśmy się na czynnikach takich, jak ściśle mierzona temperatura, ściśle mierzony czas, ściśle mierzona odległość.

Zagrzewanie ostrołuku może się odbywać w mufli lub w soli. Rozważamy to pierwsze. Na rys. 6-tym pokazany jest pocisk włożony do otworu w klapie pieca. Ostrołuk znajduje się w temperaturze, jaka panuje w mufli. Część spoczywająca w klapie, czy specjalnie wymurowanej ściance przedniej mufli, jest też ogrzewana, ale już znacznie słabiej. Ogrzewanie odbywa się za pośrednictwem ciepła, jakie skumuluje przednia ścianka mufli, ogrzewając się od strony mufli.



Rys. 6.

Część wystająca po za ściankę przednią mufli może być uważana za nagrzewaną jedynie przez przewodnictwo.

Oziębianymi częściami skorupy są: 1) W największym stopniu część wystająca ze ścianki przedniej mufli oraz 2) Powierzchnia komory stykająca się z powietrzem zimnym (otoczenia).

Z drugiej strony część ogrzewana skorupy traci ciepło przez przewodnictwo. Ciepło to odpływa ku nie grzanej części.

Przy stałej temperaturze w mufli i stałej temperaturze powietrza w hartowni muszą się wreszcie ustalić takie warunki, przy których każdy z punktów skorupy przybiera określoną temperaturę i nie zmienia jej już w czasie dalszego ogrzewania.

Przy takim urządzeniu można pracować jedynie w zakresie *ustalonej równowagi.*

Rozważamy teraz, jak dalece dokładną może być taka aparatura. Utrzymanie stałej zadanej temperatury w mufli nie jest trudne. Można stosować piec półmuflowy, w którym spaliny będą stykały się

ze skorupą oraz piec muflowy, w którym przestrzeń grzewcza będzie wolna od spalin. Czas ogrzewania w mufli zamkniętej jest prawie dwa razy dłuższy niż przy półmuflowym piecu. Zwiększony czas daje jednak równomierniejszą temperaturę. Obmurze klapy nagrzewa się wolno; po kilku godzinach pracy pieca jest ono gorętsze niż po pierwszych paru godzinach. Tym samym warunki nagrzewania skorupy zmieniają się nieznacznie,—jest to słaba strona urządzenia. Drugą słabą stroną jest drapanie powierzchni skorupy przy wkładaniu, wyjmowaniu i pokręcaniu. Mierzenie temperatury jest zupełnie łatwe. Wydajność urządzenia mała.

Drugim sposobem ogrzewania jest ogrzewanie w stopionych solach.

Wielkimi plusami tej metody są: 1) Wręcz idealne ogrzewanie pod względem równomierności. W żadnym piecu innym nie możemy osiągnąć tak doskonałego ogrzania. 2) Duża wydajność ze względu na szybką wymianę ciepła między solową kąpielą a skorupą ogrzewaną. Kąpiel solowa może być skonstruowana tak, że odbywać się w niej będzie grzanie paru skorup na raz. Aby nie wyjmować na raz paru skorup do hartowania, wypadnie uskuteczniać wkładanie w pewnych odstępach czasu.

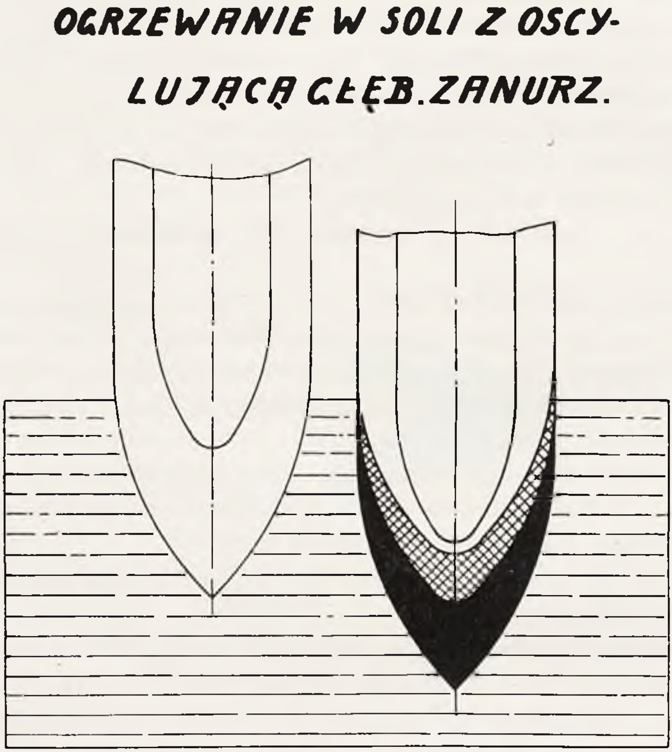
3) Trzecią zaletą pieca solowego jest zachowanie bezzendrowej powierzchni grzanego objektu.

W solowej kąpieli można pracować metodą równowagi ustalonej i metodą równowagi nieustalonej (przypominam rys. 5).

Jeżeli skorupy będą zanurzone do ogrzanej soli i pozostawione bez ruchu, to nie unikniemy ostrego przejścia od części nagrzanej do części nie nagrzanej. Nietrudno jednak zapobiec temu konstruując urządzenie do poruszania skorupami w kierunku pionowym. Na rys. 7-mym pokazane są dwie fazy zanurzenia „oscylującego". Podane są najwyższe i najniższe położenia skorupy. Ponadto zobrazowano wynik ogrzewania „oscylującego" zaczerniając obszar nagrzany do Ac3 i wyższej temperatury i kratkując obszar nagrzany od temperatur Ac3 do Ac1. Przy hartowaniu tylko te obszary wchodzą w rachubę.

Poza zanurzeniem oscylującym można zastosować powolne zanurzanie. Szybkość zanurzania do soli można unormować, tak że skorupa będzie gotowa do hartowania w chwili, gdy dojdzie do dolnego (najniższego) swego położenia. Tak czy inaczej, możemy mieć nadzieję na dobre wyniki jedynie wtedy, gdy zmechanizujemy wszystkie czynności. Musimy też pamiętać o przelewie dla utrzymania

stałego poziomu soli i o tak dużej objętości tygla solowego, aby zanurzania zimnych czy słabo podgrzanych skorup nie zmieniało w sposób wyraźny temperatury kąpieli solowej.



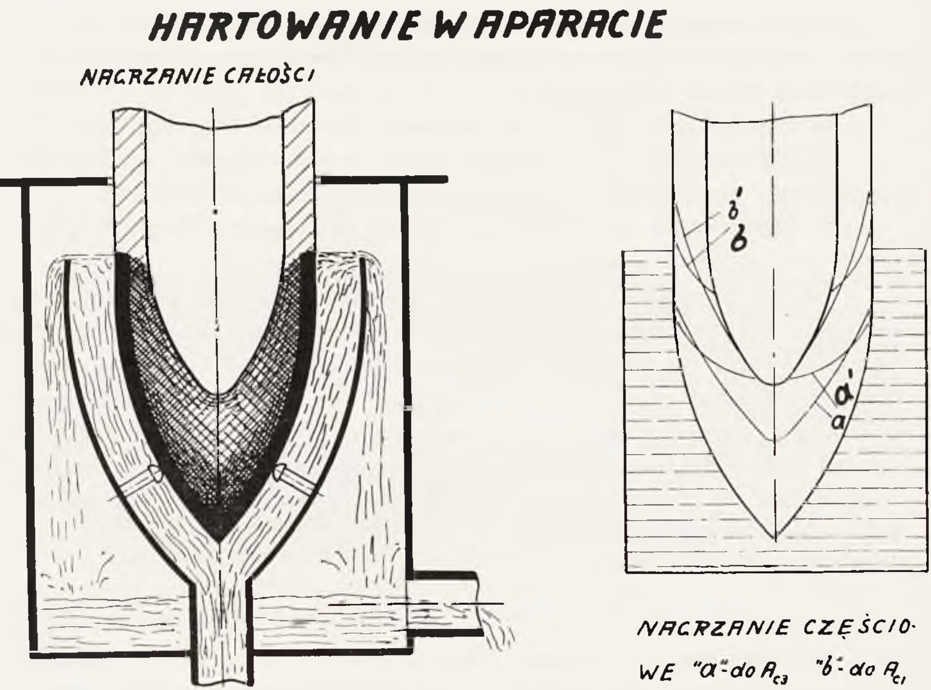
Rys. 7.

Hartowanie może odbywać się przez zanurzanie do oleju (bez wprowadzania tegoż do komory) lub przez zanurzanie do wody. Bardzo dobrym aparatem jest pokazany na rys. 8-ym. Woda omywa tu ostrołuk i spływa przez krawędzie stożkowego naczynia.

Piewsze wrażenie, jakie się odnosi przy oglądaniu takiego urządzenia jest to, że hartujemy tylko ostrołuk. Tak jednak nie jest. Poziom wody nie jest specjalnie niski. Jest najczęściej wystarczający, ale mógłby być wyższy i takie podwyższenie nie odegrałoby już żadnej roli.

Gdyby włożyć do takiego aparatu skorupę całkowicie nagrzaną do jednakowej temperatury, np. do 820^{0}, to otrzymalibyśmy rozkład twardości jak pokazuje stopień zakreskowania na rys. 8-ym. Na

powierzchni skorupy wyczulibyśmy *raptowne przejście od bardzo dużej do bardzo małej twardości.* Nieco łagodniejszy przebieg byłby wewnątrz skorupy, bo tu oziębianie jest powolniejsze.



Rys. 8.

Jeżeli zanurzamy do aparatu skorupę nagrzaną w sposób specjalny, np. tak, jak to jest zobrazowane na rys. 6-ym, to poziom wody musi być ustalony bądź ponad obszarem nagrzanym do Ac1, bądź między obszarami nagrzanymi do temperatury mniejszej od Ac1 z jednej—i do temperatury większej od Ac3 z drugiej strony.

Jeżeli nie chcemy kombinować wielu czynników na raz, to wykorzystujemy rozwiązanie pierwsze.

Na rys. 8-ym pokazane jest drugie rozwiązanie, przy czym linie a, b i a', b' wskazują granice obszarów nagrzanych do Ac1 i Ac3 przy różnych sposobach nagrzewania.

Całkowite hartowanie i częściowe odpuszczanie.

Jak już wspomniałem, całkowite hartowanie, tj. nagrzanie skorupy do określonej temperatury (oczywiście wyższej od Ac3) w całej

masie i hartowanie przez zanurzanie do cieczy całej skorupy z tym, że ciecz chłodząca dostanie się do komory, zwiększa ryzyko pękania skorup w harcie.

Jeżeli skorupa jest mała, a stal dobrze przehartowywuje się w głąb, to możemy liczyć na uzyskanie jednakowej twardości w całej masie skorupy. Możemy teraz skorupę zahartowaną odpuszczać częściowo przez:

a) Ogrzewanie od dołu w cieczach jak ołów lub sole.

b) Ogrzewanie od wnętrza przez wprowadzenie do komory specjalnego grzejnika lub nalanie stopionego metalu albo soli.

c) Ogrzewanie od dołu przez częściowe wprowadzenie do płyty perforowanej pieca grzewczego.

Należy zauważyć, że łagodny spadek twardości od ostrołuku ku części dennej oraz od powierzchni zewnętrznej ku powierzchni komory będzie możliwy do uzyskania jedynie przy ogrzaniu samej komory od wnętrza. Jeżeli ograniczymy się do zanurzania dennej części do gorącej kąpieli, to możemy liczyć jedynie na łagodny spadek twardości od ostrołuku ku części dennej, natomiast nie możemy liczyć na takiż łagodny spadek twardości w kierunku od powierzchni ku komorze.

Częściowe hartowanie i częściowe odpuszczanie.

Wydaje mi się celowe stosowanie kombinowanej metody, a więc częściowego hartowania i częściowego odpuszczania. Metoda ta polegałaby na następujących operacjach:

1) Ogrzewanie skorupy w soli stopionej (ostrołukiem w dół) do wysokości leżącej nieco niżej od dna skorupy. Komora nie byłaby przy tym zapełniona cieczą grzejącą (solą), co wywołałoby słabsze jej nagrzanie.
2) Tak nagrzana skorupa byłaby hartowana w aparacie jak na rys. 8-ym. Poziom wody leżałby nieco niżej od poziomu zanurzania w soli (podczas grzania do hartowania). Komora nie byłaby oczywiście oziębiana wodą.
3) Tak zahartowana skorupa byłaby odpuszczana w cieczach (ołów, sól) przez częściowe zanurzenie części dennej.

Ta metoda pozwoliłaby na osiągnięcie spadku twardości jak od ostrołuku ku części dennej, tak i od powierzchni ku wnętrzu (ku powierzchni komory).

Rozwiązanie masowej obróbki cieplnej nie nastręczałoby trudności, jako że zanurzanie w soli do grzania, wyciąganie z soli i zanurzanie do aparatów hartujących mogłoby być wykonywane z jednego uchwycenia.

Drugie uchwycenie byłoby potrzebne do odpuszczania.

Warunki pracy mogłyby być przy tym ustalone w sposób nadzwyczaj ścisły, co zapewniłoby jednorodne wyniki dla wielkiej ilości skorup.

Parę słów o stalach.

Skorupy małych kalibrów nie są szlifowane po obróbce cieplnej, to też musimy dbać o to, aby hartowanie nie wywoływało „rzucania się", czyli paczenia się skorup podczas hartowania. Stąd też tendencja do stosowania (dla skorup małokalibrowych) stali typu „stabil". Stale takie dają się scharakteryzować w sposób następujący: 1) Wysoka zawartość węgla. 2) Dodatki chromu i wolframu i 3) Podwyższona zawartość manganu.

Skorupy większych kalibrów są szlifowane po obróbce cieplnej, to też kwestia „rzucania się" nie jest tak ważna. Na czoło wysuwa się natomiast kwestia wybitnych właściwości mechanicznych. Najbardziej poszukiwaną jest wysoka udarność. Te właśnie wymagania skłaniają do stosowania stali typów konstrukcyjnych, jak np. stali chromo-niklo-molibdenowych.

Warto zaznaczyć, że zapobieganie „rzucaniu się" w hartowaniu odbywa się często na drodze obróbki cieplnej wstępnej, np. na drodze sferoidyzacji stali (wyżarzania na sorbito-perlit kulkowy).

Zakończenie.

Obróbka cieplna skorup pocisków przebijających nie jest rzeczą łatwą. Zabierać się do niej winni jedynie wybitni specjaliści, posiadający jak wielkie wyczucie tworzywa, tak i dużą praktykę warsztatową.

Ocena wartości uzyskanych wyników jest możliwa jedynie na strzelnicy. Nie znaczy to jednak, aby badania laboratoryjne były zbędne. Przeciwnie, gdy doszło się do dobrych wyników, że tak powiem „użytkowych", trzeba zorientować się natychmiast w przy-

czynach powodzenia i powiązać wynik próby praktycznej (strzelania) z dającymi się mierzyć parametrami.

Rozkład twardości i jej wielkość w poszczególnych miejscach skorupy będą wskaźnikami pierwszorzędnej wagi, aczkolwiek nie jedynymi.

Rozkład twardości należy obrazować wykresem przestrzennym albo modelem przestrzennym, gdyż wtedy tylko otrzymamy wierny i wyraźny obraz. Wykreślanie krzywych płaskich, łączących punkty o jednakowej twardości, tj. „izodur", nie daje należytego obrazu i prowadzi do licznych błędów.

531. 552

Ppłk Dr TADEUSZ FELSZTYN

RUCH POCISKU BRZECHWOWEGO DOKOŁA ŚRODKA CIĘŻKOŚCI

Oznaczenia.

a kaliber pocisku

cn funkcja eliptyczna cosinus amplituda

f wyraz zmienny lub stały o różnym znaczeniu

g przyspieszenie ciążenia

h wyraz zmienny lub stały o różnym znaczeniu

j wyraz stały lub zmienny o różnym znaczeniu

k $= \frac{\sin \eta}{\sin \vartheta}$ stosunek powiększeń kątowych

k_o $= \lim_{\vartheta = 0} k(\vartheta)$

k_b stosunek powiększeń kątowych brzechwy

k_p stosunek powiększeń kątowych samego pocisku

l ramię oporu powietrza

l_o $= \lim_{\vartheta = 0} l(\vartheta)$

l_b ramię oporu powietrza brzechwy

l_p ramię oporu powietrza samego pocisku

t długość pocisku

m $= -\frac{\gamma}{2}$

p ciężar pocisku

— jako znacznik — wielkość odnosząca się do pocisku samego (bez brzechwy).

$r \quad = \frac{\overline{R}(\vartheta)}{v^2}$

sn funkcja eliptyczna sinus amplituda

s łuk

t czas

v szybkość lotu

A moment bezwładności poprzecznej pocisku

C dowolna stała; w rozdz. IV — współczynnik oporu powietrza przy pomiarze aerodynamicznym

D współczynnik pierwszego stopnia w równaniu (3) w rozdz. III; czynnik oporu powietrza elementu powierzchni w rozdziale IV.

C_b współczynnik oporu powietrza brzechwy

C_p współczynnik oporu powietrza samego pocisku

E współczynnik trzeciego stopnia w równaniu (3)

$\left.\begin{matrix} F \\ G \end{matrix}\right\}$ dowolne liczby lub zmienne

H dowolna liczba lub zmienna

J dowolna liczba lub zmienna

K ćwierć okresu funkcji eliptycznej

L ramię oporu powietrza w wyrazie tłumienia

L_o ramię tłumienia

Ł ramię wahadła

$M \quad = \frac{N(\vartheta)}{\vartheta} = R\,l\,k$

$\overline{M} \quad = \frac{M}{v^2}$

$N(\vartheta)$ moment oporu powietrza

N_b moment oporu powietrza brzechwy

N_p moment oporu powietrza samego pocisku

$\overline{N}(\vartheta) = \frac{N(\vartheta)}{v^2}$

N moment oporu powietrza całego pocisku

R opór powietrza

R_o opór powietrza dla $\vartheta = 0$

$\overline{R} \quad = \frac{R \sin \eta}{A}$

S wielkość o różnych znaczeniach

T okres wahań

U wielkość przesunięcia środka ciężkości

α amplituda wahań kąta pochylenia pocisku

$\beta \quad = \frac{D}{A}$

$\bar{\beta} \quad = \frac{\beta}{v^2}$

$\gamma \quad = \frac{E}{A}$

$\bar{\gamma} \quad = \frac{\gamma}{v^2}$

δ w rozdz. III wielkość stała określona równaniem (11)
„ IV ciężar właściwy powietrza

$\delta' \quad = \frac{\delta}{g}$ (w rozdz. IV).

$\varepsilon \quad = \frac{\delta}{2g}$ (w rozdz. IV).

η kąt oporu powietrza

ϑ kąt między osią pocisku a styczną do toru

ϑ_g graniczny kąt pochylenia przy równowadze niestałej

ϑ_n amplituda po n okresach

ϑ_o amplituda początkowa

$\bar{\vartheta}$ średnia wartość bezwzględnych wartości ϑ_o i ϑ_n

$\varkappa$ moduł funkcji eliptycznej

$\lambda \quad = \frac{1}{\mu} = \frac{\gamma}{\beta}$

$\mu \quad = \frac{\beta}{\gamma}$

ν wyraz tłumienia

$\nu_0 \quad = \frac{\nu}{v}$

ρ współczynnik tłumienia

ρ_0 właściwy współczynnik tłumienia

$\sigma \quad = \frac{\beta}{\gamma \alpha^2}$

$\sigma' \quad = \frac{-\beta}{\frac{\gamma \alpha^2}{2}}$

τ kąt pochylenia

φ szybkość wahań pocisku dla $\vartheta = 0$.

I. Wstęp.

Zagadnienie pocisków brzechwowych jest najstarszym i równocześnie najmłodszym zagadnieniem techniki uzbrojenia.

Najstarszym, ponieważ pierwszy pocisk, jaki stosowała ludzkość, był pociskiem brzechwowym. Była to mianowicie strzała, pocisk przedstawiający wybitne wartości stabilizacyjne i którego lot do dziś dnia uchodzi za wzór prawidłowego zachowania się pocisku na torze.

Najmłodszym, ponieważ zagadnienie konstrukcji nowoczesnych pocisków brzechwowych wyłoniło się dopiero w czasie wojny światowej, kiedy z jednej strony trzeba było wyrzucać duże masy na krótkie odległości przy pomocy możliwie lekkich narzędzi, z drugiej zaś należało zapewnić stabilizację na torze nowopowstającemu typowi pocisku—bombie lotniczej. Dla tego zaś pocisku dotychczasowe metody stabilizacji ruchem obrotowym nie mogły znaleźć zastosowania, ze względu na warunki jego wyrzucania.

W jednym i drugim wypadku ubrzechwienie, tj. powrót do najbardziej prymitywnego systemu stabilizacji pocisku, okazało się wysoce celowe i prawie że niezastąpione. Stabilizacja bomb lotniczych przez zastosowanie brzechwy u nikogo nie wzbudza żadnych wątpliwości.

Co do pocisków lekkich broni piechoty, to również dziś doświadczenia laboratoriów, poligonów i wojen w niezaprzeczalny sposób spośród wszystkich sposobów rozwiązania tego sprzętu na czoło wysunęły pocisk brzechwowy. Triumfy, jakie na polach Mandżurii, Chin i Gran-Chaco odniósł moździerz Stokesa, strzelający pociskiem brzechwowym, są tego najwymowniejszym dowodem.

Ze względu na to, że technika pocisków brzechwowych—w nowoczesnym tego słowa znaczeniu — jest dość jeszcze młoda, to też i literatura tego przedmiotu jest stosunkowo skąpa.

W czasie wojny pojawił się w *„Bulletin de Renseignements de l'Artillerie"* artykuł, omawiający wśród innych zagadnień i pierwsze zasady stabilizacji pocisków brzechwowych.[1])

W 1922 r. w *Mémorial de l'Artillerie Française* pojawiły się dwa artykuły na ten temat, a mianowicie: *mjr Duchêne* — „Notions sur l'Équilibre et la Stabilité des Projectiles Empennés" oraz *kpt. Andreau* — „Les Projectiles Empennés et leur Précision". Z tych,

---

[1]) Zeszyt 15 str. 12 i nast. płk Duchêne „Etude sur la stabilité des projectiles".

zwłaszcza ostatni, stworzył pierwsze naukowe podstawy zagadnienia stabilizacji brzechw. Skromna wzmianka, omawiająca ruch pocisku brzechwowego na torze w związku z krzywizną toru, pojawiła się w klasycznej dziś pracy *M. Ernesta Esclangon'a* — „Sur le Mouvement des Projectiles autour de leur centre de gravité".[2])

W literaturze sowieckiej problem pocisków brzechwowych poruszał kilkakrotnie *Wietczynkin*, ponadto zostało ono w kilku słowach omówione w pracy *E. Agokas'a*. „Wozdusznaja artillerja". Szczegółowiej przestawia je balistyka *Wencla*, *Okuniewa* i *Szapiry*. Autorowie ci, nie znając prawdopodobnie pracy kpt. Andreau, niesłusznie przypisują Wietczynkinowi pierwszeństwo w rozpatrywaniu tego zagadnienia.

W polskiej literaturze zagadnienie pocisków brzechwowych nawiasowo poruszyłem w artykule moim pod tytułem „O tabeli strzelniczej moździerza Stokesa", opublikowanym w *Wiadomościach Technicznych Uzbrojenia* Nr 4 [3]) oraz w artykule „Moździerz piechoty", opublikowanym w *Przeglądzie Piechoty* w 1934 r. [4])

Celem niniejszej pracy jest zająć się bliżej tym zagadnieniem, rozpatrując przede wszystkim prawa rządzące ruchem pocisku brzechwowego dokoła środka ciężkości.

II. Zasada ruchu.

Pocisk opuszczający lufę, bomba wyrzucona z płatowca, podlegają pewnym zaburzeniom powodującym ich wahania dokoła środka ciężkości.

W czasie lotu, nawet gdyby mogła nastąpić w pewnej chwili absolutna stabilizacja pocisku na torze, tj, ścisłe zlanie się osi pocisku ze styczną do toru, to zarówno wpływ zaburzeń w powietrzu (wiatr), jak zwłaszcza obniżanie się stycznej do toru, wskutek wypukłego jego kształtu—powodują, że oś pocisku natychmiast się odchyli do stycznej do toru, zawierając z nią pewien kąt.

Działanie oporu powietrza wywołuje znów wahania pocisku dokoła środka ciężkości.

---

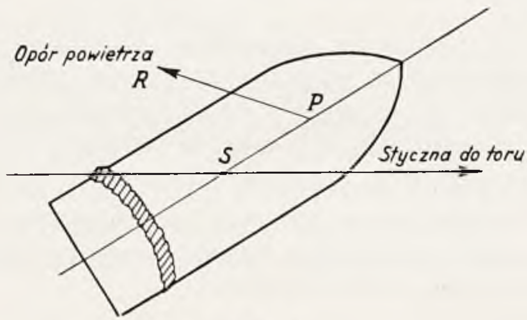
[2]) Memorial de l'Artillerie Française 1927 r. str. 701 i nast.

[3]) Styczeń 1930 r. str. 489 i nast.

[4]) Zeszyt 6 z 1934 r. str. 749 i nast.

Lot pocisku jest więc nieustannym wahaniem się jego dokoła położenia równowagi, [1]) tj. stycznej do toru. Równowaga ta może być albo *niestałą*, albo też *stałą*.

Niestałą jest ona wtedy, gdy wychylenie pocisku z położenia równowagi wytwarza siły, dążące do dalszego odchylenia pocisku od położenia równowagi. Bywa to wtedy, kiedy *punkt zaczepienia oporu powietrza* (tzw. w aerodynamice środek parcia) leży przed środkiem ciężkości pocisku, przy czym jako kierunek przedni przyjmujemy kierunek lotu pocisku (rys. 1). W tym wypadku stabilizacja pocisku wymaga dodatkowego środka stabilizacyjnego, jakim jest ruch obrotowy pocisku.



Rys. 1.

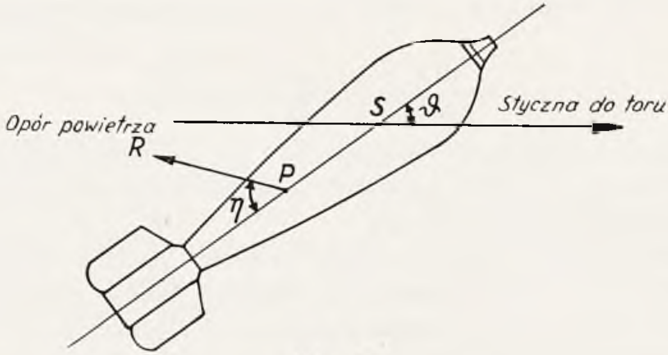
Drugi wypadek, to wypadek równowagi stałej, kiedy wychylenie pocisku z położenia równowagi wywołuje siły, dążące do powrotu pocisku w położenie równowagi. Bywa to wtedy, kiedy punkt zaczepienia oporu powietrza znajduje się za *środkiem ciężkości* (rys. 2). Ponieważ z natury rzeczy przewaga oporów przy pocisku normalnej budowy znajduje się z przodu pocisku, to też przeniesienie punktu zaczepienia oporu powietrza w tył, za środek ciężkości, możliwe jest jedynie przez dodanie osobnego urządzenia stabilizacyjnego zwanego *brzechwą*. Jest to zespół powierzchni tak dobra-

---

[1]) „Położenie równowagi" należy oczywiście rozumieć jako równowagę względną w stosunku do układu odniesień (styczna, normalna i binormalna toru), związanego ze środkiem ciężkości pocisku. Ściśle bowiem biorąc, pocisk prawidłowo ustabilizowany nie jest w równowadze w stosunku do układu odniesień, umieszczonego poza pociskiem, lecz oś jego wykonuje pewne ruchy, takie mianowicie, ażeby o ile możności zlewała się zawsze ze styczną do toru.

Dla prostoty jednak w dalszym ciągu stosować będziemy nazwę „równowaga" w znaczeniu równowagi względnej.

nych, że wywołany przez nie opór powietrza, dodany wektorialnie do oporu powietrza samego pocisku, ma wypadkowy punkt zaczepienia z tyłu środka ciężkości.



Rys. 2.

Może też istnieć wypadek pośredni, kiedy pocisk jest co prawda w położeniu równowagi niestałej, po odchyleniu się jednak jego o mały kąt ϑ_g siły zmieniają kierunek, dążąc do powrócenia pocisku w położenie równowagi.

Wypadek ten zachodzi przy ubrzechwieniu niedostatecznym, tj. takim, które dla bardzo małych kątów ϑ pozostawia punkt zaczepienia oporu powietrza przed środkiem ciężkości, przenosząc go w tył dopiero po przekroczeniu pewnego kąta granicznego ϑ_g.

Wypadek ten będzie również rozpatrywany w niniejszej pracy, pod nazwą, „wypadek równowagi niestałej".

W ogólnym wypadku ruch pocisku brzechwowego dokoła środka ciężkości przy jego wystrzeleniu z lufy, a nawet przy jego wyrzuceniu z płatowca, odbywa się w taki sposób, że przedstawia on niejako drgania eliptyczne, których jedna z głównych płaszczyzn nie musi koniecznie zlewać się z płaszczyzną strzału.

Dla analizy jednak zagadnienia stabilizacji pocisku brzechwowego wystarczy rozpatrzyć wypadek najprostszy, kiedy ruch wahadłowy pocisku odbywa się jako ruch płaski, przy czym najwygodniej jest przyjąć, że oś pocisku nie opuszcza płaszczyzny strzału.

Rozpatrywanie tylko tego wypadku będzie tematem niniejszej pracy.

W wypadku wahań płaskich jeżeli:

ϑ jest kątem między osią pocisku a styczną do toru,

A momentem bezwładności poprzecznej pocisku,

ν czynnikiem tłumienia wahań, a więc oporu przeciwko ruchowi wahadłowemu pocisku,

$N(\vartheta)$ momentem oporu powietrza, zależnym oczywiście od kąta ϑ, — to równanie różniczkowe ruchu wahadłowego pocisku brzmi:

$$A \frac{d^2 \vartheta}{dt^2} + \nu f\left(\frac{d\vartheta}{dt}\right) = N(\vartheta). \tag{1}$$

Należy uwzględnić ponadto, że kąt ϑ zmienia się nie tylko wskutek ruchu osi pocisku, ale i wskutek zmienności stycznej do toru w wyniku wypukłości toru.

Skutkiem tego kąt ϑ podlega prawom bardziej skomplikowanym, niżby to miało miejsce w wypadku ruchu prostoliniowego pocisku, tj. gdyby nie zachodziła zmienność stycznej do toru.

Kompletna analiza tego zagadnienia jest zadaniem dosyć złożonym. W pracy niniejszej zajmę się jedynie rozpatrzeniem zagadnienia prostszego, tj. ruchu prostolinijnego, a więc pominę wpływ krzywizny toru na ruch pocisku brzechwowego dokoła środka ciężkości.

III. Okres wahań.

A) Równanie zasadnicze.

Dla szczególnej analizy równania należy wpierw rozpatrzyć najprostszą jego postać, w której opuszczony został wyraz zawierający czynnik tłumienia.

Wtedy brzmi ono:

$$A \frac{d^2 \vartheta}{dt^2} = N(\vartheta). \tag{2}$$

Przy szybkościach pocisków, nieprzekraczających jakichś 200 — 240 m/sek., można wyznaczyć funkcję $N(\vartheta)$ na podstawie pomiarów aerodynamicznych.

Zmienność tej funkcji z szybkością przy szybkościach większych będzie tematem rozważań późniejszej publikacji.

Funkcja $N(\vartheta)$ jest oczywiście funkcją nieparzystą, skoro na skutek symetrycznej budowy pocisku [1]) wychylenie pocisku o kąt

---

[1]) Ściśle biorąc, budowa pocisku nie jest całkiem symetryczna, a to na skutek braku symetrii w budowie brzechwy w dowolnym położeniu pocisku w stosunku do płaszczyzny strzału.

Błąd powstały z tej przyczyny jest jednak — przy dobrze zbudowanym pocisku — nieznaczny, skutkiem czego można go pominąć przy rozważaniach praktycznych.

dodatni [1]) wywoła siły te same, co wychylenie go o kąt ujemny.

Jeżeli więc rozwiniemy $N(\vartheta)$ w szereg wedle ϑ, to pozostaną jedynie potęgi nieparzyste.

Otrzymamy więc wzór:

$$N(\vartheta) = D\vartheta + E\vartheta^3 + F\vartheta^5 + \dots \tag{3}$$

We wszystkich dotychczasowych pracach przyjęto ograniczenie tego wzoru do wyrazu stopnia pierwszego. Tego rodzaju przybliżenie zezwala co prawda na ogólne zdanie sobie sprawy z charakteru ruchu pocisku dokoła środka ciężkości, nie może jednak wyjaśnić tych różnic w zachowaniu się poszczególnych pocisków, które obserwujemy w czasie strzelania.

Kąty pochylenia bowiem, zwłaszcza w pobliżu wierzchołka toru, dochodzą a nawet przekraczają 5^0, a więc wielkość, przy której wyraz trzeciego stopnia bynajmniej nie jest do pominięcia. Przy niektórych nawet pociskach, które u wierzchołka dają kąty pochylenia dochodzące i do 10^0, zwłaszcza przy torach stromych, konieczne byłoby pozostawienie i wyrazu stopnia piątego. Ponieważ jednak są to wypadki już całkowicie wyjątkowe, a wyraz piątego stopnia bardzo znacznie komplikuje rozwiązanie, dlatego wystarczy zatrzymać się na wyrazie stopnia trzeciego.

Wprowadzenie tego wyrazu zezwala na bliższą dyskusję charakteru ubrzechwienia pocisku i na zdanie sobie sprawy z korzystnych i niekorzystnych stron poszczególnych typów ubrzechwienia,

Jeżeli więc ograniczymy się do wyrazu stopnia trzeciego, wtedy równanie (2) przekształci się na

$$A\frac{d^2\vartheta}{dt^2} = D\vartheta + E\vartheta^3 \tag{4}$$

lub

$$\frac{d^2\vartheta}{dt^2} = \frac{D}{A}\vartheta + \frac{E}{A}\vartheta^3 = \beta\vartheta + \gamma\vartheta^3 \tag{5}$$

---

[1]) Celem ustalenia określeń, zaznaczam w tym miejscu, że jako dodatni kierunek ruchu przyjmować będę kierunek przeciwny kierunkowi wskazówek zegara.

Jest to co prawda sprzeczne z określeniem zwykle przyjętym w mechanice, niemniej jednak zgodne z ogólnym znakowaniem w balistyce. Jeżeli bowiem przyjmujemy, że kąt nachylenia toru maleje wraz z rosnącą odległością (jak to stale przyjmuje się w balistyce), w takim razie musimy ruch stycznej do toru przyjąć za ruch ujemny, a tym samym przyznać jego kierunkowi, zgodnemu z kierunkiem obrotu wskazówek zegara, znak minus.

gdzie

$$\beta = \frac{D}{A}$$

$$\gamma = \frac{E}{A}$$

Ogólne rozwiązanie tego zadania brzmi.

$$t = \int \frac{d\vartheta}{\sqrt{2\int (\beta\vartheta + \gamma\vartheta^3) + C_1}} = \int \frac{d\vartheta}{\sqrt{2\left(\frac{\beta}{2}\vartheta^2 + \frac{\gamma}{4}\vartheta^4\right) + C_1}} =$$

$$= \int \frac{d\vartheta}{\sqrt{\beta\vartheta^2 + \frac{\gamma}{2}\vartheta^4 + C_1}} \tag{6}$$

gdzie C_1 jest stałą całkowania tak dobraną, ażeby dla czasu $t = 0$ szybkość $\frac{d\vartheta}{dt}$ odpowiadała warunkom granicznym równania.

Stałej całkowania C_2 dla czasu t nie wprowadzam, zawsze bowiem można tak ustalić początek czasu, ażeby wynosiła ona zero.

Rozwiązanie tego równania jest zależne od wartości stałych β i γ.

B) Wypadek równowagi stałej.

Wypadek równowagi stałej jest wypadkiem najczęstszym, ponieważ on jedynie odpowiada dobrze skonstruowanemu pociskowi. Wypadek ten zachodzi wtedy, kiedy dla wszelkich wartości ϑ, które wchodzą w grę,

$$N(\vartheta) < 0 \tag{7}$$

Warunek ten oczywiście pociąga za sobą

$$\beta < 0 \tag{8}$$

Załóżmy więc, że dla pewnego

$$\vartheta = \vartheta_0$$

mamy

$$\vartheta_0 = \alpha \tag{9}$$

$$\left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)_0 = 0$$

tj., że jako początek czasu bierzemy wierzchołek fali wahań.

Wtedy

$$\left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)_0 = \sqrt{\left(\beta\vartheta^2 + \frac{\gamma}{2}\vartheta^4 + C_1\right)_0} = \sqrt{\beta\alpha^2 + \frac{\gamma}{2}\alpha^4 + C_1} = 0 \qquad (10)$$

co daje

$$C_1 = -\beta\alpha^2 - \frac{\gamma}{2}\alpha^4 = \delta \qquad (11)$$

Oznaczmy tę wielkość przez δ. Wtedy równanie (6) przyjmie postać

$$t = \int_0^{\vartheta} \frac{d\vartheta}{\sqrt{\beta\vartheta^2 + \frac{\gamma}{2}\vartheta^4 + \delta}} \qquad (12)$$

Jest to, jak odrazu widać, funkcja eliptyczna. Szczegółowe określenie jej wartości zależne jest od pierwiastków wielomianu, znajdującego się we wzorze (12) w mianowniku pod pierwiastkiem.

Ażeby pierwiastki te znaleźć, napiszmy dla uproszczenia

$$\frac{\beta}{\gamma} = \mu \qquad (13)$$

$$\frac{2\delta}{\gamma} = -\varepsilon \qquad (14)$$

Otrzymamy wtedy równanie

$$\vartheta^4 + 2\mu\vartheta^2 - \varepsilon = 0 \qquad (15)$$

a pierwiastek jego wyniesie:

$$\vartheta^2 = -\mu \pm \sqrt{\mu^2 + \varepsilon} \qquad (16)$$

Podstawiając w (16) wartości za μ i ε z (13), (14) i (11) otrzymujemy:

$$\varepsilon = \frac{\beta\alpha^2 + \frac{\gamma}{2}\alpha^4}{\frac{\gamma}{2}} = 2\mu\alpha^2 + \alpha^4, \qquad (17)$$

$$\mu^2 + \varepsilon = \mu^2 + 2\mu\alpha^2 + \alpha^4 = (\mu + \alpha^2)^2 \qquad (18)$$

a więc

$$\vartheta^2 = -\mu \pm (\mu + \alpha^2) \qquad (19)$$

Z dwóch pierwiastków równania

$$(\vartheta^2)_1 = \alpha^2 \qquad (20)$$

$$(\vartheta^2)_2 = -2\mu - \alpha^2, \qquad (21)$$

tylko jeden może mieć znaczenie fizyczne. Zależy to oczywiście od znaku μ.

a) *Wypadek* $\mu > 0$

Warunek $\mu > 0$ pociąga za sobą z konieczności rzeczy warunek

$$\gamma < 0$$

Wtedy jedynym możliwym rozwiązaniem równości (19) jest

$$\vartheta = \pm \alpha, \tag{22}$$

rozwiązanie bowiem

$$\vartheta^2 = -2\mu - \alpha^2 < 0 \tag{23}$$

jest niemożliwe.

Napiszmy w tym wypadku dla skrócenia

$$f^2 = \alpha^2 \tag{24}$$

$$h^2 = 2\mu + \alpha^2 \tag{25}$$

Mianownik równania (12) przekształci się więc na:

$$\frac{\gamma}{2} (\vartheta^2 - f^2) [\vartheta^2 - (-h^2)] = m (f^2 - \vartheta^2) (\vartheta^2 + h^2) \tag{26}$$

gdzie oznaczyliśmy przez m wyrażenie:

$$m = -\frac{\gamma}{2} > 0 \tag{27}$$

Równanie (12) przyjmie więc postać

$$t = \frac{1}{\sqrt{m}} \int_0^\vartheta \frac{d\vartheta}{\sqrt{(f^2 - \vartheta^2)(\vartheta^2 + h^2)}} \tag{28}$$

Jeżeli więc napiszemy

$$j = \sqrt{f^2 + h^2} \tag{29}$$

w takim razie na wartość ϑ otrzymamy wyrażenie poniższe

$$\vartheta = f\, cn \sqrt{m\ (f^2 + h^2)}\, .\, t \tag{30}$$

gdzie *cn* oznacza funkcję eliptyczną cosinus amplitudę, której modułem będzie

$$\varkappa = \frac{f}{j} \tag{31}$$

Postawmy w równaniach powyższych wartości:

$$f = \alpha; \tag{24a}$$

$$j = \sqrt{f^2 + h^2} = \sqrt{\alpha^2 + 2\mu + \alpha^2} = \sqrt{2\alpha^2 + 2\mu};$$

$$m(f^2 + h^2) = -\frac{\gamma}{2}(2\alpha^2 + 2\mu) = -\mu\gamma - \gamma\alpha^2 = -\beta - \gamma\alpha^2$$

więc

$$j = \sqrt{2\mu + 2\alpha^2} = \frac{1}{\sqrt{-\frac{\gamma}{2}}}\sqrt{-\beta - \gamma\alpha^2} \tag{29a}$$

Równanie na ϑ przyjmie więc ostatecznie postać

$$\vartheta = \alpha\, cn \sqrt{-\beta - \gamma\alpha^2}\,.\,t \tag{32}$$

z modułem

$$\varkappa = \frac{\alpha\sqrt{-\frac{\gamma}{2}}}{\sqrt{-\beta - \gamma\alpha^2}} \tag{33}$$

Należy zauważyć, że dla wypadku szczególnego

$$\gamma = 0$$

mamy

$$\left.\begin{aligned} \varkappa &= 0 \\ \vartheta &= \alpha \cos\sqrt{-\beta}\,.\,t \end{aligned}\right\} \tag{34}$$

zupełnie zgodnie ze wzorem dotychczas podawanym w literaturze.

b) Wypadek $\mu < 0$.

W tym wypadku mamy

$$\gamma > 0$$

lecz α musi być tak małe, ażeby stale zachodziła nierówność

$$-2\mu - \alpha^2 > 0 \tag{35}$$

Napiszmy tedy

$$f^2 = \alpha^2 \tag{36}$$

$$j^2 = -2\mu - \alpha^2 \tag{37}$$

Mianownik równania (12) przekształci się więc na

$$\frac{\gamma}{2}(\vartheta^2 - f^2)(\vartheta^2 - j^2) \tag{38}$$

a kąt ϑ będzie wyrażony wzorem

$$\vartheta = f\, sn\, (C + j \sqrt{\frac{\gamma}{2}} \,.\, t) \tag{39}$$

gdzie *sn* oznacza funkcję eliptyczną sinus amplitudę z modułem

$$\varkappa = \frac{f}{j}. \tag{40}$$

Jeżeli znowu podstawimy wartości

$$f = \alpha \tag{36a}$$

$$\sqrt{\frac{\gamma}{2}} \,.\, j = \sqrt{\frac{\gamma}{2}(-2\mu - \alpha^2)} = \sqrt{-\mu\gamma - \frac{\alpha^2\gamma}{2}} = \sqrt{-\beta - \frac{\gamma\alpha^2}{2}},$$

to otrzymamy

$$j = \frac{\sqrt{-\beta - \frac{\gamma\alpha^2}{2}}}{\sqrt{\frac{\gamma}{2}}} \tag{37a}$$

a wartość na ϑ:

$$\vartheta = \alpha\, sn\, (C + \sqrt{-\beta - \frac{\gamma\alpha^2}{2}}\; t) \tag{41}$$

z modułem

$$\varkappa = \frac{\alpha\sqrt{\frac{\gamma}{2}}}{\sqrt{-\beta - \frac{\gamma}{2}\alpha^2}}\;. \tag{40a}$$

Wartość stałej C oznaczymy z warunku granicznego, że dla

$$t = 0$$

musi być

$$\vartheta = \alpha$$

a więc

$$sn\; C = 1.$$

Warunek ten daje

$$C = K \tag{42}$$

gdzie przez K oznaczyliśmy wielkość ćwierć okresu dla modułu $\varkappa$.

c) Wypadek $\beta = 0$.

Wypadek szczególny $\beta = 0$ jest oczywiście możliwy jedynie w wypadku, gdyby

$$\gamma < 0$$

w przeciwnym bowiem wypadku mielibyśmy równowagę niestałą. W wypadku $\gamma < 0$, $\beta = 0$, jak prosty rachunek wykazuje

$$\vartheta = \alpha\, cn \sqrt{-\gamma\, \alpha^2}\, .\, t \tag{43}$$

z modułem

$$\varkappa = \frac{1}{\sqrt{2}} \tag{44}$$

d) Omówienie wielkości wchodzących w grę.

Zespół wzorów (32), (41) i (43) zezwala na szczegółowe zdanie sobie sprawy z wpływu poszczególnych wielkości na okres i przebieg funkcji.

α) Wpływ wyrazu trzeciego stopnia.

Niech

$$\lambda = \frac{1}{\mu} = \frac{\gamma}{\beta} \tag{45}$$

wtedy równania (32) i (41) przyjmą postać:

$$\vartheta = \alpha\, cn \left[\sqrt{-\beta}\, .\, \sqrt{1 + \lambda\, \alpha^2}\; t\right],\quad \varkappa = \frac{\alpha \sqrt{\frac{\lambda}{2}}}{\sqrt{1 + \lambda\, \alpha^2}} \tag{46}$$

dla

$$\gamma < 0,\quad \lambda > 0$$

i

$$\vartheta = \alpha\, sn \left[K + (\sqrt{-\beta}\, .\, \sqrt{1 + \frac{\lambda\, \alpha^2}{2}}\; t)\right], \tag{47}$$

$$\varkappa = \frac{\alpha \sqrt{-\frac{\lambda}{2}}}{\sqrt{1 + \frac{\lambda\, \alpha^2}{2}}}$$

dla

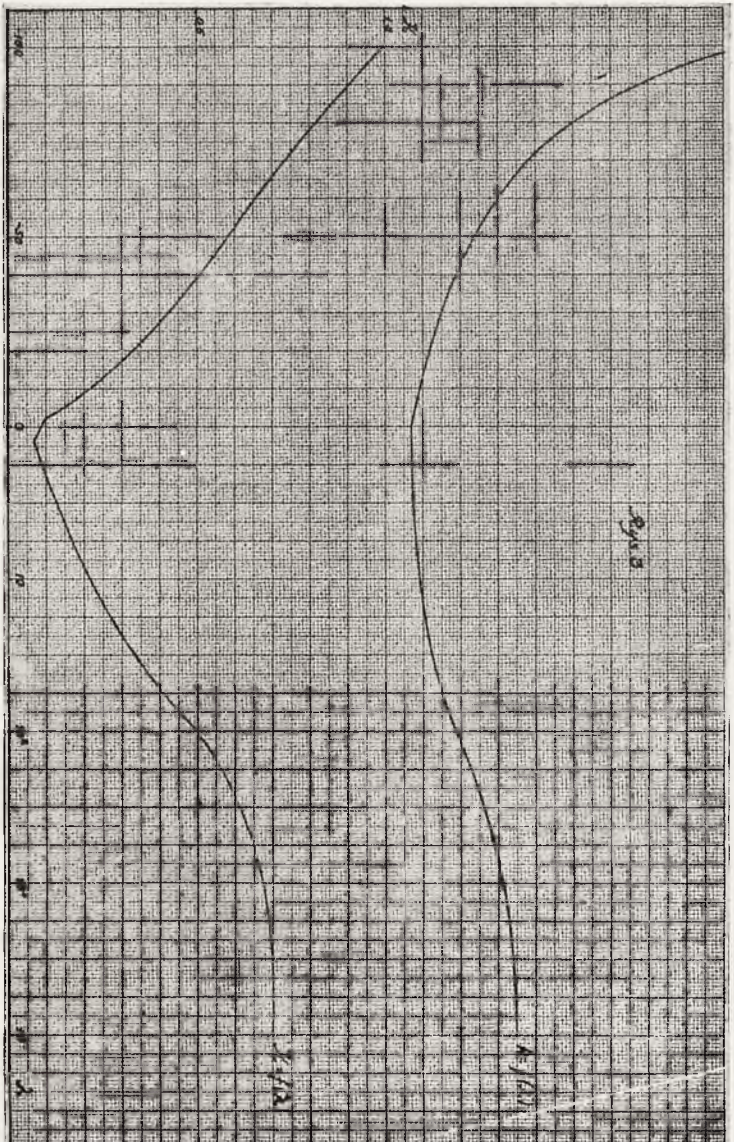
$$\gamma > 0,\quad \lambda < 0.$$

Okres wahań natomiast będzie wynosił

$$\frac{4\, K}{\sqrt{-\beta}\;\; \sqrt{1 + \lambda\, \alpha^2}} \tag{48}$$

albo

$$\frac{4\ K}{\sqrt{-\beta}\ \sqrt{1+\frac{\lambda\ \alpha^2}{2}}}$$



Zależność ćwierć okresu K, modułu $\varkappa$ oraz okresu wahań od wielkości λ podaje rysunek 3 obliczony przy założeniu, że

$$\alpha^2 = 0{,}01$$

i że t zostało zastąpione przez

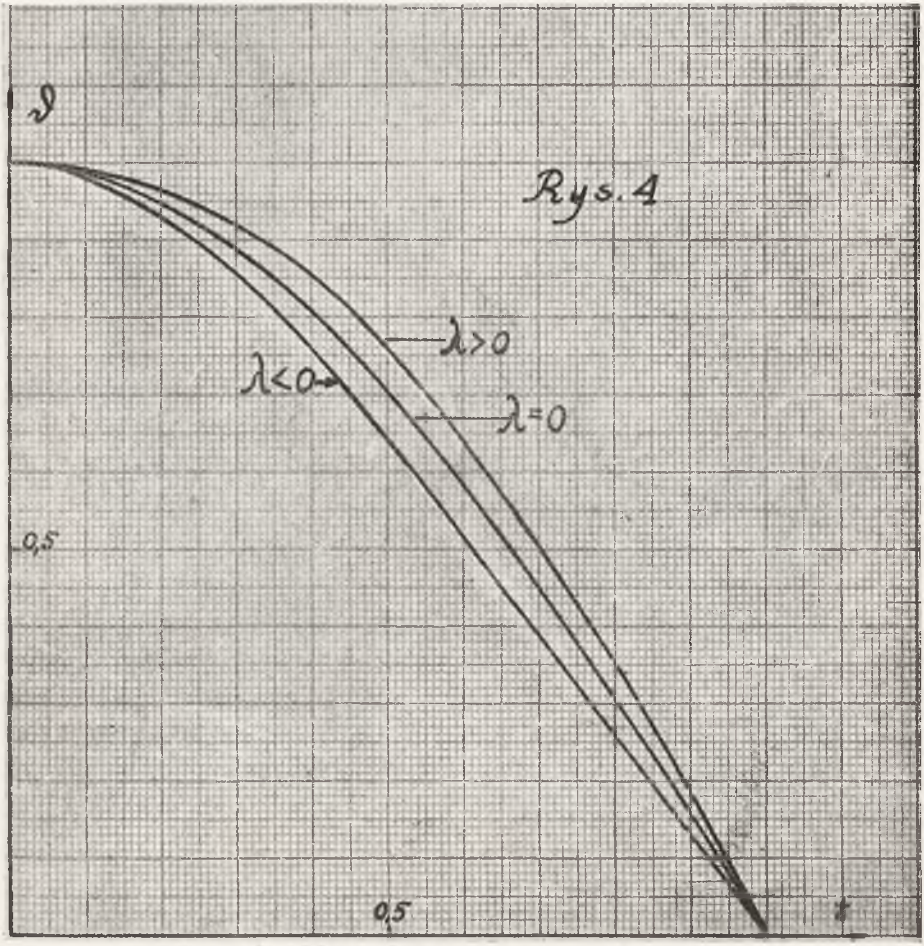
$$\sqrt{-\beta} \,.\, t$$

Wygląd funkcji

$$\vartheta = f(t)$$

podaje rysunek 4 dla 3-ch założeń

1) $\lambda = 0$



2) $\lambda > 0, \quad \varkappa = \sin 44^0$

3) $\lambda < 0, \quad \varkappa = \sin 44^0.$

Rysunki te wykazują, że:

1) Ze wzrostem λ okres wahań maleje.

2) Przy tym samym okresie wahań rzędna funkcji tym szybciej maleje, im λ jest większe.

Średnia więc wartość funkcji, która ma duże znaczenie dla wielkości oporu powietrza w czasie jednego okresu wahań jest tym mniejsza, a więc korzystniejsza, im λ jest większe.

β) *Wpływ wyrazu pierwszego stopnia.*

Rozpatrzmy wpierw wypadek

$$\gamma < 0.$$

Napiszmy dla skrócenia

$$\sigma = \frac{\beta}{\gamma \alpha^2} > 0 \tag{49}$$

wtedy

$$\left.\begin{aligned} \vartheta &= \alpha\, cn \sqrt{-\beta - \gamma \alpha^2}\; t = \alpha\, cn\, (\alpha \sqrt{-\gamma}\;.\;\sqrt{\sigma + 1})\; t, \\ \varkappa &= \frac{1}{\sqrt{2}\;\sqrt{1+\sigma}} \end{aligned}\right\} \tag{50}$$

Dla $\gamma > 0$ napiszmy

$$\sigma' = \frac{-\beta}{\frac{\gamma \alpha^2}{2}} \tag{51}$$

co jest nietylko większe od zera, ale nawet, jak to wynika z (35) — większe od jedności.

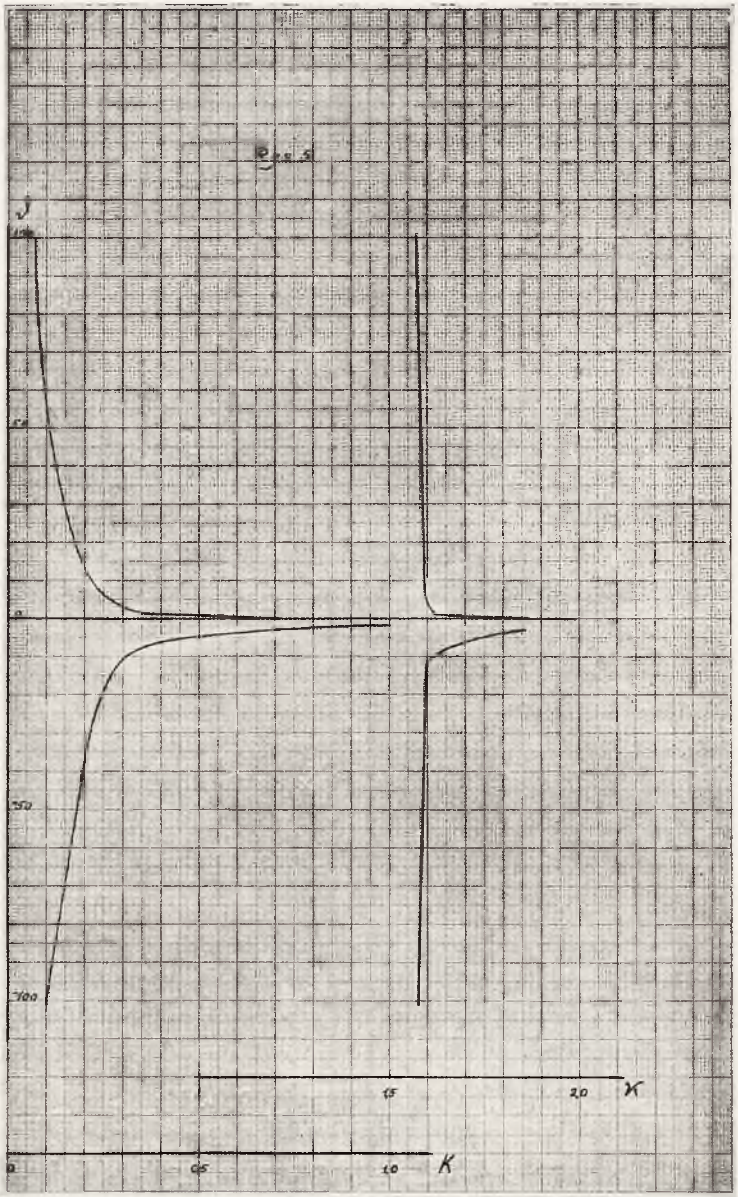
Wtedy

$$\left.\begin{aligned} \vartheta \alpha &= \sin\left[K + \sqrt{-\beta - \frac{\gamma \alpha^2}{2}}\; t\right] = \alpha\, sn\; (K + \alpha \sqrt{\frac{\gamma}{2}}\,.\,\sqrt{\sigma - 1}), \\ \varkappa &= \frac{1}{\sqrt{\sigma - 1}} \end{aligned}\right\} \tag{52}$$

Wpływ wielkości σ na okres i na moduł funkcji oraz na okres wahań przedstawia rysunek 5.

Widać z niego, że wzrost σ silnie wpływa na malenie modułu funkcji i to znacznie silniej przy $\lambda < 0$ niż przy $\lambda > 0$.

Na ogół wzrost wartości σ wpływa dodatnio na lot pocisku, czyniąc okres wahań krótszym, a średnią amplitudę mniejszą.



e) Wpływ przesuwania środka ciężkości.

Moment $N(\vartheta)$ można (rys. 6) wyrazić wzorem

$$N(\vartheta) = R(\vartheta) \, . \, l(\vartheta) \; . \; \sin \gamma_i \tag{53}$$

gdzie oznaczają

R — wektor oporu powietrza,

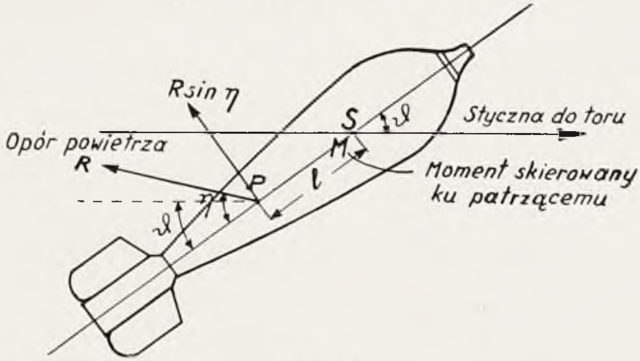
l — ramię oporu powietrza, tj. odległość między środkiem ciężkości a punktem zaczepienia oporu powietrza,

η — kąt oporu powietrza, tj. kąt między wektorem oporu powietrza a osią symetrii pocisku, przy czym

$$\eta = \eta(\vartheta)$$

Napiszmy dla skrócenia

$$\frac{R(\vartheta)\sin\eta(\vartheta)}{A} = \overline{R}(\vartheta) \tag{54}$$



Rys. 6.

Ponieważ sin η jest funkcją nieparzystą, a $R(\vartheta)$ jest funkcją parzystą, więc $\overline{R}(\vartheta)$ jest funkcją nieparzystą. Możemy więc napisać, że

$$\overline{R}(\vartheta) = F\vartheta + G\vartheta^3 \tag{55}$$

przy czym $F > 0$, G zaś może mieć znak dowolny; $l(\vartheta)$ jest niewątpliwie funkcją parzystą, przy czym w wypadku równowagi stałej dla małego ϑ, $l < 0$, inaczej bowiem $N(\vartheta)$ miałoby znak dodatni, wbrew założeniom równowagi stałej.

Jeżeli więc napiszemy

$$l(\vartheta) = l_0 + H\vartheta^2 \tag{56}$$

to — poza wypadkiem równowagi niestałej — wyraz l_0 jest ujemny.

Jeżeli więc pominiemy, jak to stale czynimy, wyraz stopnia piątego i przyjmiemy, że

$$\frac{N(\vartheta)}{A} = \beta\vartheta + \gamma\vartheta^3, \tag{57}$$

w takim razie otrzymamy

$$\beta = l_0 F \tag{58}$$

$$\gamma = l_0 G + H F. \tag{59}$$

Przypuśćmy obecnie, że środek ciężkości został przesunięty o wielkość U.

Przesunięcie to w żaden sposób nie mogło wpłynąć ani na wielkość R, ani na η.

Mamy więc

$$F_1 = F_2 = F \tag{60}$$

$$G_1 = G_2 = G \tag{61}$$

Natomiast przesunięcie środka ciężkości jest równoznaczne z przesunięciem początku układu wyrazu l. Będziemy więc mieli

$$l_{02} = l_{01} + U \tag{62}$$

$$H_2 = H_1 = H \tag{63}$$

Współczynniki równania (57) przyjmą następującą postać:

$$\beta_2 = l_0 F + U F = \beta_1 + U F \tag{64}$$

$$\gamma_2 = l_0 G + H F + U G = \gamma_1 + U G \tag{65}$$

Okres wahań jest odwrotnie proporcjonalny do $\frac{1}{\sqrt{\beta}}$, ze wzrostem więc bezwzględnej wartości l (tj. $U < 0$) wzrośnie tym silniej, im F jest większe.

Jeżeli przez k_0 oznaczymy

$$k_0 = \lim_{\vartheta = 0} \frac{\sin \eta}{\sin \vartheta} = \lim_{\vartheta = 0} \frac{\sin \eta}{\vartheta} \tag{66}$$

a przez R_0 opór powietrza przy osiowym położeniu pocisku, to widać, że

$$F = \frac{R_0}{A} k_0 \tag{67}$$

Duża więc wartość R_0 (co zresztą dla lotu pocisku nie jest zbyt korzystne), a zwłaszcza k_0 (co jest znacznie bardziej pożądane) umożliwia znaczne polepszenie stabilizacji pocisku na torze, przy drobnych już nawet przesunięciach środka ciężkości.

Dla analizy wpływu wyrazu stopnia trzeciego nazwijmy przez

$$\lambda_1 = \frac{\gamma_1}{\beta_1}$$

$$\lambda_2 = \frac{\gamma_2}{\beta_2}$$

W takim razie

$$\lambda_2 = \frac{\gamma_1 + U G}{\beta_1 + U F} \tag{68}$$

Kierunek wzrostu λ_2 wraz z U zależy więc od wartości

$$G(\beta_1 + U F) - F(\gamma_1 + U G) = G\,\beta_1 - F\,\gamma_1 = -H F^2 \tag{69}$$

a więc od znaku H.

Jeżeli $H < 0$ (ramię w bezwzględnej wartości rośnie z kątem pochylenia), w takim razie wraz z rosnącą bezwzględną wartością ramienia stabilizacji (U ujemne) λ maleje, przesuwanie środka ciężkości zostaje więc częściowo zniwelowane przez malenie λ.

Jeżeli naodwrót $H > 0$, czyli ramię w bezwzględnej wartości maleje z kątem pochylenia, to λ rośnie i przesuwanie środka ciężkości staje się znacznie korzystniejsze.

Natomiast bezwzględna wartość funkcji $\frac{N(\vartheta)}{A}$ wraz z U ujemnym (wzrost bezwzględnej wartości ramienia) zawsze się powiększa, ponieważ

$$\left(\frac{N(\vartheta)}{A}\right)_2 = \left(\frac{N(\vartheta)}{A}\right)_1 + U(F\vartheta + G\vartheta^3) = \left(\frac{N(\vartheta)}{A}\right)_1 + U\,\bar{R}(\vartheta). \tag{70}$$

f) Wpływ wzrostu szybkości.

Przy szybkościach stosowanych normalnie przy pociskach brzechwowych, można przyjąć, że opór powietrza jest proporcjonalny do kwadratu szybkości.

Jeżeli więc przyjmiemy, że zarówno ramię stabilizacji, jak wielkość k, a przynajmniej ich iloczyn — są niezależne od szybkości tak długo, jak długo szybkość pocisku nie zbliża się do szybkości głosu (słuszność tego założenia zdaje się być prawdopodobna w wyniku badań, o których będzie mowa w późniejszej publikacji), to będziemy mogli napisać, że

$$\bar{R}(\vartheta) = r(\vartheta)\,v^2 \tag{71}$$

gdzie $r(\vartheta)$ jest niezależne od szybkości. Również i

$$\frac{N(\vartheta)}{A} = \bar{N}(\vartheta)\, v^2 = \bar{\beta}\, v^2 \vartheta + \bar{\gamma}\, v^2\, \vartheta^3 \tag{72}$$

jest proporcjonalne do kwadratu v.

Widać więc, że wyraz momentu $N(\vartheta)$ rośnie proporcjonalnie do kwadratu szybkości, a okres maleje odwrotnie proporcjonalnie do szybkości.

g) Inne ujęcie zagadnienia.

W rozumowaniach dotychczasowych przyjmowaliśmy, że pocisk posiada na początku ruchu pewne pochylenie $\vartheta_0 = \alpha$. Tego rodzaju założenie ułatwia nam przedstawienie równania ϑ w funkcji czasu w najprostszej formie.

Jednak dla analizy ruchu pocisku na torze, a zwłaszcza dla obliczenia ruchu pocisku, wygodniej jest rozpocząć rozpatrywanie okresu drgań od punktu $\vartheta = 0$, przyjmując przy tym, że pocisk posiada w tym punkcie pewną szybkość wahań wynoszącą φ.

W takim razie dla $\vartheta_0 = 0$ i dla pochodnej w tym punkcie

$$\vartheta'_0 = \sqrt{\beta\,\vartheta^2 + \frac{\gamma}{2}\,\vartheta^4 + \delta} = \varphi \tag{73}$$

mamy $\delta = \varphi^2$ lub z (11)

$$\varphi^2 = -\beta\,\alpha^2 - \frac{\gamma}{2}\,\alpha^4 \tag{74}$$

Analogicznie więc jak poprzednio pod (13) do (21)

$$\frac{\gamma}{2}\,\alpha^4 + \beta\,\alpha^2 + \varphi^2 = 0 \tag{75}$$

Rozwiązując obecnie równanie na α i pisząc jak poprzednio

$$\mu = \frac{\beta}{\gamma}, \tag{13}$$

mamy:

$$\alpha^2 = -\mu \pm \sqrt{\mu^2 - \frac{2\,\varphi^2}{\gamma}} \tag{76}$$

Jeżeli $\gamma < 0$, to $\mu > 0$. Pozostaje więc tylko jedna wartość możliwa dla α, a mianowicie

$$\alpha^2 = -\mu + \sqrt{\mu^2 - \frac{2\,\varphi^2}{\gamma}} = -\mu + \mu\sqrt{1 - \frac{2\,\varphi^2}{\mu^2\,\gamma}} \tag{77}$$

co zezwala obliczyć amplitudę wahań.

Weźmy dla przykładu wypadek teoretyczny, że pocisk ustabilizował się w pewnej chwili całkowicie na torze, tj. że oś jego zlała się ze styczną do toru. Wtedy jedyną szybkością jego wahań jest szybkość kątowa obniżania się stycznej do toru. W takim razie

$$\varphi = -\frac{g \cos \tau}{v} \tag{78}$$

a wyraz pod pierwiastkiem wynosi

$$\frac{2 g^2 \cos^2 \tau}{v^2 \cdot \dfrac{\beta^2 \cdot v^4}{\gamma \cdot v^2}} = \frac{2 g^2 \cos^2 \tau \cdot \gamma}{\beta^2 \cdot v^4} = -\frac{C}{v^4} \tag{79}$$

(bo $\gamma < 0$)

czyli

$$\alpha^2 = -\mu + \mu \sqrt{1 + \frac{C}{v^4}} \sim -\mu + \mu \left(1 + \frac{C_1}{v^4}\right) = \frac{C_2}{v^4} \tag{80}$$

Amplituda wahań jest więc odwrotnie proporcjonalna do kwadratu szybkości.

W wypadku $\gamma > 0$, mamy $\mu < 0$, a więc możliwe są obydwa rozwiązania:

$$-\mu + \sqrt{\mu^2 - \frac{2 \varphi^2}{\gamma}} \tag{77a}$$

jak i

$$-\mu - \sqrt{\mu^2 - \frac{2 \varphi^2}{\gamma}} \tag{77b}$$

oba bowiem spełniają warunek

$$-2 \mu - \alpha^2 > 0. \tag{35}$$

Rzeczywistość fizyczną reprezentuje jednak tylko rozwiązanie mniejsze.

Dla małego γ mamy bowiem

$$\alpha^2 = \frac{1}{\gamma} \left(-\beta \pm \sqrt{\beta^2 - 2 \varphi^2 \gamma}\right) = \frac{1}{\gamma} \left[-\beta \pm \beta \sqrt{1 - 2 \varphi^2 \frac{\gamma}{\beta^2}}\right] \sim \tag{81}$$

$$\sim \frac{1}{\gamma} \left[-\beta \pm \beta \left(1 - \frac{\varphi^2}{\beta^2} \gamma\right)\right]$$

Znak plus prowadzi w granicy do wyrazu

$$\alpha^2 = \frac{\varphi^2}{-\beta} \tag{82}$$

co rzeczywiście odpowiada wartości α dla γ dążącego dla zera. Natomiast znak minus prowadzi do wielkości nieskończenie wielkich, co nie może odpowiadać rzeczywistości fizycznej.

C) Wypadek równowagi niestałej.

Jeżeli pocisk ma być w równowadze niestałej, to wartość $N(\vartheta)$, która początkowo jest dodatnia, musi po przekroczeniu pewnego kąta granicznego ϑ_g stać się ujemną. W takim razie mamy oczywiście $\beta > 0$, $\gamma < 0$ przy czym dla pewnego $\vartheta = \vartheta_g$

$$\beta\,\vartheta_g + \gamma\,\vartheta_g^3 = 0 \tag{83}$$

a więc

$$\vartheta_g^2 = -\frac{\beta}{\gamma} = -\mu \tag{84}$$

Amplituda wahań w tym wypadku wynosi, zgodnie z poprzednim:

$$\alpha^2 = -\mu \pm \sqrt{\mu^2 - \frac{2\,\varphi^2}{\gamma}} \tag{76}$$

Ponieważ γ jest ujemne, a μ również ujemne, więc możliwe jest tylko jedno rozwiązanie rzeczywiste, a mianowicie

$$\alpha^2 = -\mu + \sqrt{\mu^2 - \frac{2\,\varphi^2}{\gamma}} \tag{85}$$

Położmy jak poprzednio

$$f^2 = \alpha^2 \tag{24}$$

$$h^2 = +\mu + \sqrt{\mu^2 - \frac{2\,\varphi^2}{\gamma}} \tag{25a}$$

w takim razie uzyskujemy

$$\vartheta = f\ cn \sqrt{\frac{\gamma}{2}\,(f^2 + h^2)}\ .\ t \tag{86}$$

z modułem

$$\varkappa = \frac{f}{\sqrt{f^2 + h^2}} \tag{87}$$

Różnica jednak jest bardzo istotna.

Wobec tego bowiem, że $-\mu > 0$, mamy jako jedyne rozwiązanie

$$\alpha^2 = -\mu + (-\mu)\sqrt{1 - \frac{2\,\varphi^2}{\mu^2\,\gamma}} \tag{88}$$

co z φ dążącym do zera, dąży do -2μ. A więc α dąży do

$$\pm\sqrt{2\vartheta_g^2} = \vartheta_g\sqrt{2} \qquad (89)$$

W wypadku przeto równowagi niestałej, nawet przy zaniku sił dążących do wyprowadzenia pocisku z równowagi, pocisk nie ustabilizuje się na torze, lecz będzie wykonywał nieustannie wahania dokoła położenia równowagi, przy czym amplituda tych wahań będzie $\sqrt{2}$ razy większa niż kąt graniczny, to jest kąt, przy którym pocisk wchodzi w strefę równowagi stałej.

Ponieważ

$$\vartheta_g = \sqrt{-\frac{\beta}{\gamma}} \qquad (90)$$

więc kąt graniczny jest niezależny od szybkości. Wzrost szybkości nie wpłynie na ustabilizowanie się tego pocisku. Widać więc, że lot pocisku o równowadze niestałej będzie niezależny od szybkości i że pocisk ten będzie stale wykonywał wahania na torze, jak to można zaobserwować na niektórych typach wadliwie ustabilizowanych bomb lotniczych. Obserwacja więc, że pocisk stale waha się na torze, jest najlepszym dowodem tego, że ubrzechwienie pocisku jest niedostateczne.

IV. Tłumienie.

A) Wyraz tłumienia

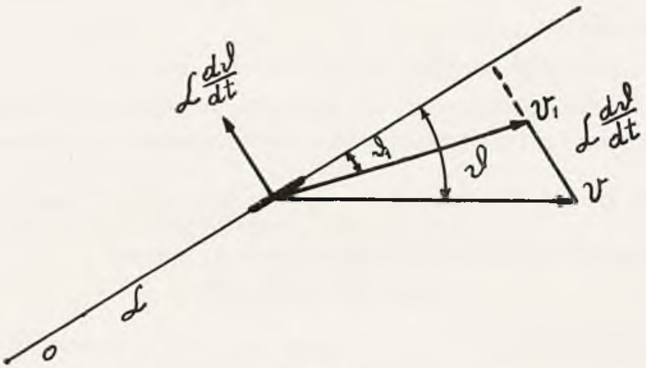
Wielkość tłumienia pocisku wahliwego została przyjęta przez *Esclangona* w postaci, jaką stale się prawie spotyka przy rozważaniach ruchu pocisku obracającego się, a mianowicie w postaci wyrazu $\nu \frac{d\vartheta}{dt}$, przy czym wielkość ν jest przyjęta jako wielkość stała, jakkolwiek Esclangon podaje, że wielkość ta jest prawdopodobnie zależna od szybkości v.

Sprawę tę szerzej ujmuje we wspomnianym na wstępie artykule kpt. *Andreau*. Dowód jego został w znacznie mniej przejrzystej formie powtórzony w przytoczonej na wstępie balistyce *Wencla, Okuniewa i Szapiry*, przy czym autorowie dowód ten niesłusznie przypisują pracom autora rosyjskiego *Wietczynkina*.

Dowód poniższy przeprowadzę wedle kpt. *Andreau*, zmieniając jednak sposób oznaczeń wielkości zgodnie z oznaczeniami niniejszej pracy. Uzupełnię go jednak dyskusją co do słuszności założeń oraz co do wniosków, jakie z niego wynikają.

B) Wielkość tłumienia.

Niech (rys. 7) na małą płytkę o powierzchni S działa prąd powietrza o szybkości v (lub — co na to samo wychodzi — niech płytka przesuwa się w powietrzu z szybkością v) i niech wektor v zawiera z płytką kąt ϑ.



Rys. 7.

Niech wreszcie

$$\delta' = \frac{\delta}{g}, \tag{91}$$

gdzie δ jest gęstością powietrza, a g przyśpieszeniem ciążenia, oznacza ciężar właściwy powietrza na powierzchni płytki. W takim razie oznaczmy przez

$$D = C\delta' S \tag{92}$$

czynnik oporu tej płytki. Opór jej wyniesie

$$R = v^2 D \sin\vartheta \tag{93}$$

co dla małego bardzo kąta można napisać w postaci

$$R = v^2 D \vartheta \tag{94}$$

Jeżeli płytka nie wykonuje żadnego ruchu poprzecznego (a więc przy założeniu, że działa na nią prąd powietrza, jeżeli płytka jest w spoczynku), to w takim razie szybkość prądu powietrza w stosunku do płytki jest co do wartości i kierunku równa szybkości bezwzględnej prądu powietrza.

Jeżeli jednak płytka wykonuje ruch wahliwy, w takim razie szybkość jej v_1 składa się z dwu wielkości: szybkości prądu powietrza (lub szybkości ruchu postępowego płytki), którą oznaczymy

przez v i z szybkości poprzecznej płytki $L\frac{d\vartheta}{dt}$, gdzie L jest odległością płytki od środka obrotu, przy czym obie te wielkości dodają się do siebie wektorialnie.

W wypadkach spotykanych w praktyce $L\frac{d\vartheta}{dt}$ jest bardzo małe w porównaniu do v.

Jako przykład weźmy pocisk Stokesa wz. 24.

Jeżeli dla uproszczenia przyjmiemy, że jego ruch wahliwy odbywa się wedle zwykłej sinusoidy, to z danych aerodynamicznych można przyjąć, że średnia wartość $M = \frac{N(\vartheta)}{\vartheta} = 2{,}01 \times 10^{-5}$ kgm^{-1}sek^{2} [1]).

Moment bezwładności poprzecznej A, wynosi

$$1{,}857 \,.\, 10^{-3} \text{ kgmsek}^2$$ [2]).

W takim razie

$$\sqrt{\frac{M}{A}} = 0{,}1041,$$

a równanie ruchu wahliwego:

$$\vartheta = \alpha \cos \sqrt{\frac{M}{A}}\, v\, t. \tag{95}$$

Przyjmując $\alpha = 5^0 = 0{,}08726$ radj. mamy

$$\left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)_{max} = 0{,}0908\ v$$

Największe ramię wahań w pocisku Stokesa wyniesie około

$$L = 0{,}18 \text{ m},$$

a więc

$$\left(L\frac{d\vartheta}{d\,t}\right)_{max} = 0{,}18 \,.\, 0{,}0908\ v = 0{,}00163\ v$$

a więc ledwo 0,15%.

---

[1]) Wedle pomiarów dokonanych w Instytucie Aerodynamicznym Politechniki Warszawskiej.

[2]) Liczbę tę uzyskano z 10-ciu pomiarów wykonanych metodą opisaną w *Cranza* „Lehrbuch der Ballistik" tom III, wyd. 2. Springer 1927, str. 18, oraz w *Wiadomościach Technicznych Uzbrojenia* Nr 8 (styczeń 1931) str, 964 i nast. Przy pomiarze tym wynik największy wynosił 1,934, najmniejszy 1,767 dla 10 pocisków, co wskazuje na dość dużą dokładność pracy.

Ten mały bardzo stosunek wyrazu $L\frac{d\vartheta}{dt}$ do wielkości v przyjąć można jako stałą regułę.

W takim razie możemy przyjąć, że

$$v_1 \sim v \tag{96}$$

Z rysunku 7 wynika, że

$$v_1 \sin\vartheta_1 = v \sin\vartheta - L\frac{d\vartheta}{dt}\text{ [1]} \tag{97}$$

a więc

$$\sin\vartheta_1 = \frac{v}{v_1}\sin\vartheta - \frac{L}{v_1}\frac{d\vartheta}{dt} \tag{98}$$

lub w przybliżeniu, uwzględniając (96),

$$\vartheta_1 = \vartheta - \frac{L}{v}\frac{d\vartheta}{dt} \tag{99}$$

Opór powietrza płytki, wykonującej ruch wahliwy równocześnie z ruchem postępowym, wynosi na zasadzie (94):

$$R = Dv^2\left(\vartheta - \frac{L}{v}\frac{d\vartheta}{dt}\right) = v^2 D\vartheta - LDv\frac{d\vartheta}{dt}, \tag{100}$$

moment zaś siły:

$$RL = v^2 LD\vartheta - DL^2 v\frac{d\vartheta}{dt} \tag{101}$$

Jeżeli przez A_s oznaczymy chwilowo moment bezwładności płytki, to równanie różniczkowe jej ruchu wyrazi się wzorem

$$A_s\frac{d^2\vartheta}{dt^2} + L^2 D v\frac{d\vartheta}{dt} - LDv^2\vartheta = 0 \tag{102}$$

Należy przy tym podkreślić, że wielkość L może przyjmować zarówno wartość dodatnią jak i ujemną.

Fakt więc, że wyraz L wchodzi w stopniu drugim w czynnik tłumienia, podczas gdy w wyraz momentu siły oporu powietrza jedynie w stopniu pierwszym, wykazuje, że przy rozpatrywaniu całego pocisku, części powierzchni pocisku, znajdujące się przed środkiem ciężkości, sumują się *w swej bezwzględnej wartości* z częściami

[1] Dla uniknięcia pomyłki co do znaków, rysunek 7 przedstawiłem—w przeciwieństwie do kpt. Andreau—w taki sposób, ażeby zarówno kąt ϑ jak i szybkość $\frac{d\vartheta}{dt}$, jak wreszcie i ramię L miały, zgodnie z naszym określeniem kierunków, kierunek dodatni.

pocisku za środkiem ciężkości dla czynnika tłumienia, a *ze znakiem przeciwnym* dla czynnika momentu oporu powietrza.

Równanie (102) można też napisać w postaci następującej

$$\frac{d^2\vartheta}{dt^2} + \frac{L^2 Dv}{A}\frac{d\vartheta}{dt} - \frac{L Dv^2}{A}\vartheta = 0 \tag{103}$$

Powyższy dowód nasuwa następujące uwagi:

1. Zasadnicza podstawa dowodu, wzór (93), może wzbudzać pewną wątpliwość co do słuszności tkwiących w nim założeń fizycznych.

Wynika bowiem z niego np. dla $\vartheta = 0$, że $R = 0$, czyli że część powierzchni ciała równoległa do prądu wiatru (kierunku ruchu) nie wywiera żadnego oporu. Tymczasem wiemy dobrze, że nie odpowiada to rzeczywistości i że istnienie strefy granicznej w pobliżu powierzchni ciała powoduje dość znaczne komplikacje zjawisk, panujących w pobliżu przeszkody dla wiatru.

Również i dla różnych kątów ϑ związek, że R jest proporcjonalne do $\sin\vartheta$, niezupełnie odpowiada rzeczywistości.

2. Może również wzbudzać pewną wątpliwość, czy proste wektorialne dodanie do siebie dwu szybkości v i $L\frac{d\vartheta}{dt}$ może dokładnie odtworzyć istotę zjawisk, jakie tu zachodzą.

Jest bowiem możliwe, a nawet prawdopodobne, że oba te ruchy wywołują zupełnie inne wielkości zaburzeń w środowisku, że więc nie wolno ich sprowadzać do jednego mianownika.

Brak dotychczas jednak zupełnie doświadczeń, któreby w sposób kompletny mogły odpowiedzieć na te wątpliwości. Warto tylko zauważyć, że analogiczne założenia, sprowadzające się w gruncie rzeczy do rozpatrywania tej tylko składowej szybkości, która jest prostopadła do powierzchni płytki, są podstawą teorii żagla, gdzie dość dobrze—w pierwszym przynajmniej przybliżeniu—odpowiadają rzeczywistości. Rzecz prosta, nie jest to żadnym dowodem prawdziwości założeń. I szybkości balistyczne są o wiele większe i płaszczyzny ciał o wiele mniejsze, by wolno było ślepo przenosić doświadczenia jednej dziedziny na drugą.

Co bardziej jest ciekawe, to fakt, że pewne wnioski, jakie wynikają z wzoru (93) i następnych w stosunku do pocisków, udało się dość dobrze sprawdzić przy pomocy obliczeń i doświadczeń, o których będzie mowa w dalszej części niniejszego rozdziału.

Z tego też względu, w braku innych danych, za przesłankę dalszych rozważań przyjmę wzór (102) lub (103), zastrzegając się

jednak, że ten dział balistyki pocisków brzechwowych poważnie jeszcze leży odłogiem i że nader skąpe nasze wiadomości w tej dziedzinie nie zezwalają na razie na bliższe podejście do rzeczywistości.

3. Jeżeli stać na gruncie dowodu przytoczonego powyżej, to widać, że szybkość $\frac{d\vartheta}{dt}$, z którą mamy do czynienia w dowodzie, jest *szybkością względem wektora szybkości postępowej* v, a nie względem jakiejś osi będącej w spoczynku.

Z tego punktu widzenia jest rzeczą obojętną, czy wektor szybkości jest niezmienny co do kierunku, a płytka wykonuje wahania, czy też płytka jest nieruchoma, a wektor szybkości zmienia swój kierunek z pewną szybkością kątową.

Jak już wyżej zastrzegłem, tego rodzaju wniosek może wzbudzać duże wątpliwości co do słuszności fizycznej jego przesłanek. Jest on jednak logicznym wnioskiem tych przesłanek i jeżeli je przyjmiemy — ze względów przytoczonych wyżej — za podstawę naszego rozumowania, to tym samym musimy i ten wniosek również przyjąć jako słuszny.

C) Wypadek całego pocisku.

Dla całego pocisku $\iint L\,dD$ daje wyraz $\overline{N} = \frac{N(\vartheta)}{v^2}$, tj. czynnik momentu pocisku, który był przedmiotem rozważań rozdziału III.

Natomiast wyraz

$$\iint L^2\,dD = \rho \tag{104}$$

daje wielkość którą nazwiemy *współczynnikiem tłumienia* i oznaczymy literą ρ.

Ażeby zdać sobie sprawę z jego wielkości, napiszmy, zmieniając odpowiednio wartość stałej C we wzorze (92), że

$$dD = C\,dS \tag{105}$$

gdzie C oznacza współczynnik oporu danej cząsteczki powierzchni. Dla uproszczenia rozumowania przyjmijmy, że:

1) wielkość C jest wielkością stałą dla każdej cząstki powierzchni lub też, że — ściślej biorąc — można ją zastąpić przez wielkość średnią.

2) pocisk jest walcem o średnicy a.

W takim razie dla nieskończenie krótkiego pierścienia, wyciętego z powierzchni walca, mamy

$$dS = a\pi \, dL$$

Jeżeli przyjmiemy to założenie, to przekonamy się, że

$$\rho = C \iint L^2 \, dD = C a \pi \int_0^l L^2 \, dt = \frac{C a \pi}{3} l^3 \tag{106}$$

gdzie przez l oznaczyłem długość pocisku.

Więc

$$\rho = C_1 \, a \, l^3 \tag{107}$$

co na drodze znacznie bardziej zawiłej i mniej przemawiającej do przekonania uzyskują *Wencel, Szapiro* i *Okuniew.*

Wzór (107) wskazuje, że

1) wartość współczynnika tłumienia rośnie wraz z kalibrem pocisku,

2) wartość współczynnika tłumienia rośnie wraz z długością pocisku w stopniu trzecim,

3) dla pocisków podobnych wartość współczynnika tłumienia rośnie w stopniu czwartym do stosunku podobieństwa.

Widać więc, że współczynnik tłumienia pocisków krótkich jest gorszy niż pocisków długich, co tłumaczy znane zjawisko, że długość pocisków brzechwowych może znacznie przekraczać długość pocisków gwintowanych.

Założenia, które doprowadziły do wzoru (107), były jednak natury dość dowolnej i wprowadzone zostały tylko po to, ażeby zdać sobie sprawę z charakteru zmiany wielkości współczynnika tłumienia w zależności od budowy pocisku.

Dla zastosowań praktycznych lepiej znacznie przyjąć na wyraz ρ inne wyrażenie, wzorowane na metodach stosowanych przy oznaczaniu momentów bezwładności.

Napiszmy mianowicie

$$\rho = \rho_0 \, L_0^2 \tag{108}$$

gdzie ρ_0 nazwiemy *właściwym współczynnikiem tłumienia* pocisku, a L_0 *ramieniem tłumienia.*

Przybliżone założenie co do sposobu oznaczenia tych wielkości z pomiarów aerodynamicznych omówimy poniżej.

Gdyby pocisk cały wahał się dokoła punktu tak odległego od pocisku, że wielkość L można by było przyjąć za niezależną od

miejsca powierzchni, w takim razie z wzoru (104) widać łatwo, że mielibyśmy:

$$\rho_0 = \iint dD \tag{109}$$

co uzasadnia pojęcie „właściwego współczynnika tłumienia".

D) Zastosowanie do wypadków konkretnych.

Jeżeli mamy do czynienia z całym pociskiem, to doświadczenie w tunelu aerodynamicznym daje nam wielkości oporu pocisku. Jeżeli więc napiszemy

$$R = C\, v^2, \tag{110}$$

w takim razie moment oporu powietrza

$$N(\vartheta) = R\, l\, k \sin \vartheta \tag{111}$$

jak to wynika ze wzoru (53), gdzie podstawiliśmy $\sin \eta = k \sin \vartheta$, ($k$ więc jest również funkcją ϑ).

Jeżeli obecnie oznaczymy przez

$$M(\vartheta) = \frac{N(\vartheta)}{\vartheta} = R\, l\, k, \tag{112}$$

to mogłoby się zdawać, że wzór (101) możnaby było zastąpić wzorem

$$M\, \vartheta_1 = C\, l\, k\, \vartheta_1\, v^2 \tag{113}$$

gdzie wartość kąta ϑ_1 wyraża się — jak poprzednio — wzorem (99).

Jednakowoż tak wyrażonych wartości nie wolno wstawić w równanie w sposób analogiczny, jak to uczyniliśmy poprzednio w równaniu (101).

Przykład najlepiej wyjaśni tę sprawę.

Przyjmijmy, że pocisk ma punkt zaczepienia oporu powietrza w środku ciężkości. W takim razie mamy równanie

$$l = 0$$

$$\text{i } M = 0,$$

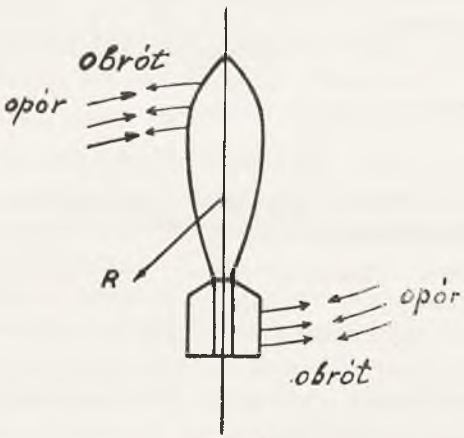
a jednak nie można twierdzić, ażeby tłumienie pocisku było zerem, skoro zarówno przednia jak i tylna część pocisku (rys. 8) wywołują opory przeciwko ruchowi, które to opory ze swej strony wywołują tłumienie ruchu.

Przyczyna tkwi w tym, że rachując wyraz $\iint L\, d\, D$, bierze-

my—jak to poprzednio zaznaczyliśmy—L z jego znakiem algebraicznym, a więc w części przedniej pocisku ze znakiem przeciwnym do jego części tylnej. Natomiast we wzorze

$$\iint L^2 \, d\,D = \rho \tag{104}$$

wyraz L jest w kwadracie, skutkiem czego współczynnik tłumienia części przedniej pocisku dodaje się, a nie odejmuje, do współczynnika tłumienia części tylnej pocisku.



Rys. 8.

Ażeby jednak móc wykorzystać dla rachunku współczynnika tłumienia pocisku pomiary aerodynamiczne, przyjmijmy następujące założenie:

Zastąpmy w myśli pocisk przez dwa punkty materialne, zgrupowane: jeden w punkcie zaczepienia oporu powietrza samego pocisku (bez brzechwy), drugi zaś w punkcie zaczepienia oporu powietrza brzechwy.

Punktom tym przypiszmy własności oporu powietrza te same, jakie mają pocisk lub brzechwa, tj. przypiszmy im pewne wektory oporu powietrza (rys. 9) identyczne z rzeczywistymi wektorami pocisku lub brzechwy [1]). Oczywiście, te siły i momenty składają się wektorialnie ze sobą.

Jeżeli więc oznaczymy przez:

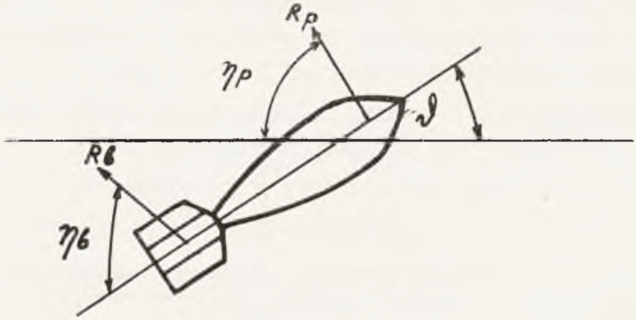
C_p współczynnik oporu powietrza pocisku (w myśl równania 110),

[1]) Dyskusja tego założenia będzie tematem późniejszej publikacji.

l_p odległość zaczepienia oporu powietrza pocisku od środka ciężkości,

k_p stosunek powiększeń kątowych dla pocisku $\left(k = \frac{\sin \eta}{\sin \vartheta}\right)$

i jeżeli przez C_b, l_b i k_b oznaczymy analogicznie wielkości dla



Rys. 9.

brzechwy, w takim razie całki zostaną zastąpione przez sumy i będziemy mieli

$$\rho_0 = C_p\, k_p + C_b k_b\ ^{1)} \tag{114}$$

oraz

$$\rho = C_p\, k_p\, l_p^2 + C_b\, k_b\, l_b^2 \tag{115}$$

a więc

$$L_0^2 = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{C_p\, k_p\, l_p^2 + C_b\, k_b\, l_b^2}{C_p\, k_p + C_b\, k_b}$$

Tak obliczone

$$\rho = \rho_0 L_0^2 \tag{108}$$

jest niewątpliwie trochę za małe. O ile bowiem czynnik tłumienia brzechwy jest dość dobrze uwzględniony, to dla samego pocisku

---

[1]) Gdyby stać ściśle na gruncie wzoru (93), to mielibyśmy tylko

$$\rho_0 = C_p + C_b$$

Wzór ten jednak niewątpliwie byłby fałszywy, wyraz bowiem momentu dla samego np. pocisku

$$N_p(\vartheta) = \iint L\, d\, D = C_p\, k_p\, l_p$$

Jeżeli więc w całce (zastępując pocisk punktem materialnym) napiszemy zamiast L wielkość l_p, w takim razie zamiast D musimy napisać nie C_p lecz $C_p\, k_p$, uwzględniając w ten sposób odmienny kierunek wektora R niż wektora v.

Z tego też względu i we wzorze (114) należy zastąpić wyraz D wyrazem $C\,k$.

część jego, leżąca w tyle za środkiem ciężkości, jest uwzględniona wadliwie, opór jej bowiem został odjęty, zamiast żeby go dodać.

Co prawda, przy prawidłowej budowie pocisku ma to nieduże znaczenie, część bowiem tylna, leżąca w cieniu aerodynamicznym części przedniej pocisku, mało tylko przyczynia się do ogólnej wartości oporu pocisku. W każdym jednak razie należy pamiętać dla celu zastosowań praktycznych, że wyliczony wskazaną wyżej drogą współczynnik tłumienia pocisku jest nieco za mały.

Ażeby zdać sobie sprawę z rzędu tej wielkości, podaję poniżej obliczenia wykonane dla pocisku Stokesa wz. 24. [1])

Dla pocisku tego otrzymujemy w przybliżeniu

$$\rho_0 = 7{,}5 \,.\, 10^{-4};$$

przy czym liczba ta ulega pewnym drobnym zmianom w zależności od typu brzechwy i użytego zapalnika.

Ramię tłumienia L_0 waha się w granicach od 0,14 do 0,18 m (długość pocisku około 0,34 m), zależnie od użytej brzechwy, zapalnika i od kąta ϑ.

E) Sprawdzenie na wahadle.

Ażeby zdać sobie sprawę z tego, czy tak otrzymane liczby są dostatecznie zbliżone do rzeczywistości, przeprowadziliśmy dla pocisku Stokesa wz. 24 następujące badania w Laboratorium Zakładu Balistyki Politechniki Warszawskiej. [2])

Pocisk zawieszony został zapalnikiem w dół (rys. 10) na cienkiej nitce takiej długości, ażeby odległość środka ciężkości pocisku od punktu zawieszenia wynosiła raz 2,000 m, drugi raz 1,500 m.

Jako punkt podparcia zastosowano dobrze oszlifowane ostrze pryzmatyczne, jak w czułej wadze analitycznej, ażeby tą drogą zmniejszyć tarcie w punkcie podparcia do minimum.

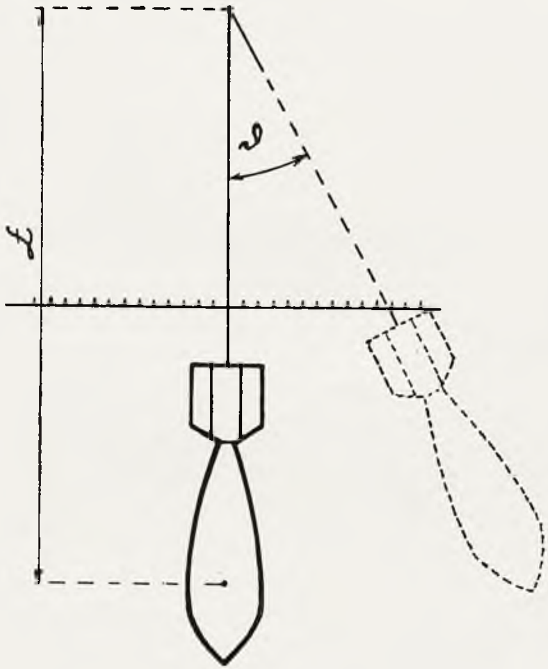
Za nitką umieszczono w odległości 1,670 m (dla $Ł = 2{,}0$ m) lub 1,000 m (dla $Ł = 1{,}5$ m) podziałkę centymetrową poziomą. Pocisk wychylano o pewien kąt ϑ, po czym obserwowano wielkość wychyleń pocisku na podziałce, a równocześnie mierzono okres wahań. Czas ten mierzono co 10 okresów czułym chronometrem.

---

[1]) Dane liczbowe, na podstawie których przeprowadziłem to obliczenie, zostaną podane w jednej z późniejszych publikacji.

[2]) Pomiary opisane poniżej wykonane zostały pod moim kierunkiem przez p. inż. Ziębińskiego, st. asyst. Zakładu Balistyki Politechniki Warszawskiej.

Porównanie okresu wahań z danymi teoretycznymi, wyliczonymi z równania wahadła, wykazuje różnicę dopiero w trzecim znaku, co leży w granicy błędu doświadczalnego i świadczy o dużej dokładności wykonanej pracy.



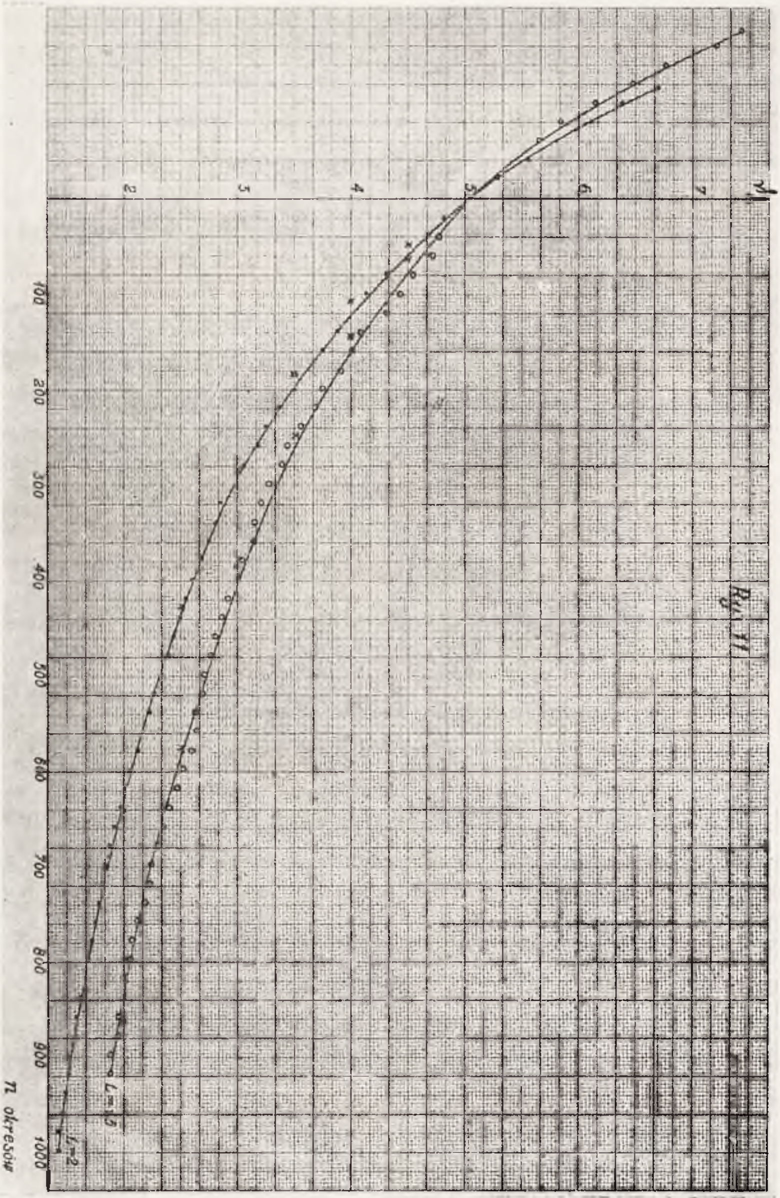
Rys. 10.

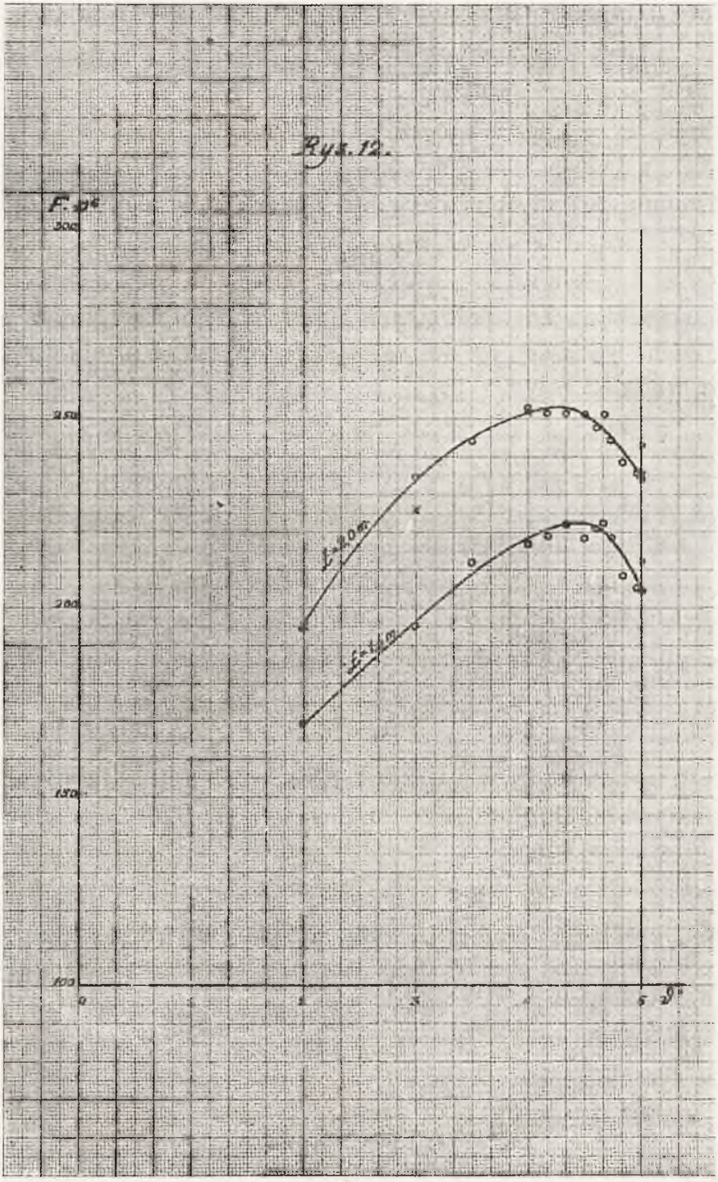
Obraz wykresu ϑ w funkcji ilości drgań przedstawia rysunek 11.

Gdyby przyjąć, jak to się normalnie czyni, że tłumienie jest proporcjonalne do pierwszej potęgi szybkości, a więc do wyrazu $\frac{d\vartheta}{dt}$, w takim razie musielibyśmy wartość wyrazu tłumienia (oznaczoną na rysunku przez F, ze względu na dalsze rozumowanie, uzasadnione wzorem (154) otrzymać niezależną od kąta wychylenia ϑ i odwrotnie proporcjonalną do długości zawieszenia. Tymczasem rysunek 12 wykazuje wręcz odmienne zachowanie się tego wyrazu.

Przyczyna tkwi w tym, że założenie tłumienia proporcjonalnego do pierwszego stopnia szybkości jest słuszne jedynie w wypadku równoczesnego ruchu pocisku o względnie dużej szybkości (jak to wynika z dowodu kpt. *Andreau*), podczas gdy

w wypadku, kiedy ruch postępowy ciała wynosi zero, należałoby przyjąć tłumienie proporcjonalne do drugiego stopnia szybkości kątowej.





Rys. 12.

F) Tłumienie proporcjonalne do kwadratu szybkości kątowej.

Niech równanie tłumienia brzmi

$$\frac{d^2\vartheta}{dt^2} + \nu \left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)^2 = \beta\vartheta \qquad (117)$$

przy czym

$$\beta < 0$$

Równanie to ma sens fizyczny jedynie w wypadku, gdy

$$\frac{d\vartheta}{dt} > 0,$$

w przeciwnym bowiem razie wynikałoby z niego, że tłumienie przyśpiesza ruch wahania, co oczywiście byłoby nonsensem fizycznym.

Dla wartości więc

$$\frac{d\vartheta}{dt} < 0$$

należy zmienić znak ν, do czego powrócę poniżej.

Dla rozwiązania równania (117) napiszmy

$$z = \left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)^2 \qquad (118)$$

otrzymujemy wtedy rozwiązanie równania (117)

$$z = \frac{\beta}{\nu}\vartheta - \frac{\beta}{2\nu^2} + C_1 e^{-2\nu\vartheta} + C_2 \qquad (119)$$

Jeżeli wielkość tę wprowadzimy w równanie (117) przekształcając je odpowiednio,[1]) to przekonamy się, że $C_2 = 0$, a więc

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \sqrt{\frac{\beta}{\nu}\vartheta + C_1 e^{-2\nu\vartheta} - \frac{\beta}{2\nu^2}} \qquad (120)$$

Dla określenia stałej C_1 załóżmy, że w środku łuku, tj. dla $\vartheta = 0$

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \varphi \qquad (121)$$

wtedy otrzymamy

$$C_1 = \varphi^2 + \frac{\beta}{2\nu^2} \qquad (122)$$

---

[1]) Z podstawienia $\frac{d\vartheta}{dt} = \sqrt{z}$, otrzymujemy

$$\frac{d^2\vartheta}{dt^2} = \frac{1}{2}\frac{dz}{d\vartheta} \text{ i równanie (117a) } \frac{1}{2}\frac{dz}{d\vartheta} + \nu z = \beta\vartheta$$

Wstawiając to w równanie (120) otrzymujemy

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \sqrt{\frac{\beta}{\nu}\,\vartheta + \left(\varphi_2 + \frac{\beta}{2\nu^2}\right) e^{-2\nu\vartheta} - \frac{\beta}{2\nu^2}} \tag{123}$$

Dla ustalenia dolnej i górnej amplitudy wahania połóżmy

$$\frac{d\vartheta}{dt} = 0,$$

otrzymamy wówczas równanie przestępne

$$\frac{\beta}{\nu}\,\vartheta + \left(\varphi^2 + \frac{\beta}{2\nu^2}\right) e^{-2\nu\vartheta} - \frac{\beta}{2\nu^2} = 0. \tag{124}$$

Ażeby równanie to rozwiązać w sposób przybliżony, połóżmy

$$e^{-2\nu\vartheta} = 1 - 2\nu\vartheta + 2\nu^2\vartheta^2 \tag{125}$$

tj. opuśćmy w rozwinięciu wyraz $(2\nu\vartheta)^3$ i wyrazy stopnia wyższego, co możemy śmiało uczynić wobec bardzo małej wartości tych wyrazów.

Jeżeli wstawimy to w równanie (124) i opuścimy w sumie

$$\beta + 2\nu^2\varphi^2$$

bardzo mały w stosunku do β wyraz $\nu^2\varphi^2$, to otrzymamy równanie

$$\varphi^2 - 2\nu\varphi^2\vartheta + \beta\vartheta^2 = 0 \tag{136}$$

którego rozwiązanie brzmi:

$$\vartheta = \frac{\nu\varphi^2}{\beta} \pm \sqrt{\frac{\nu^2\varphi^4}{\beta^2} - \frac{\varphi^2}{\beta}} = \frac{\nu\varphi^2}{\beta} \pm \frac{\varphi}{\sqrt{-\beta}} \sqrt{1 - \frac{\nu^2\varphi^2}{\beta}} \tag{127}$$

Ażeby uprościć pisownię napiszmy

$$\sqrt{-\beta} = h > 0$$
$$\beta = -h^2$$

Równanie (127) przyjmie więc postać

$$\vartheta = \frac{-\nu\varphi^2}{h^2} \pm \frac{\varphi}{h} \sqrt{1 + \frac{\nu^2\varphi^2}{h^2}} \tag{128}$$

Wyraz $\frac{\nu^2\varphi^2}{h^2}$ jest zarówno mały wobec jedności, jak i wobec $\frac{\nu\varphi^2}{h^2}$, możemy więc ostatecznie ϑ napisać w przybliżeniu

$$\vartheta = \pm \frac{\varphi}{h}\left(1 \mp \frac{\nu\varphi}{h}\right) \tag{129}$$

Oznaczmy dolną amplitudę przez ϑ_0, górną przez ϑ_1.

W takim razie dla jednego półokresu

$$\vartheta_0 = -\frac{\varphi}{h} - \frac{\nu\varphi^2}{h^2} \tag{130}$$

$$\vartheta_1 = +\frac{\varphi}{h} - \frac{\nu\varphi^2}{h^2} \tag{131}$$

a tłumienie w czasie jednego półokresu

$$\Delta\vartheta = |\vartheta_0| - |\vartheta_1| = \frac{2\nu\varphi^2}{h^2}, \tag{132}$$

lub ponieważ w pierwszym przybliżeniu

$$|\vartheta_0| \sim \frac{\varphi}{h} \tag{133}$$

więc

$$\left|\frac{\vartheta_1}{\vartheta_0}\right| = 1 - \frac{2\nu\varphi}{h} \tag{134}$$

W drugim pólokresie mamy

$$\frac{d\vartheta}{dt} < 0$$

a więc w równaniu (117) trzeba zmienić $+\nu$ na $-\nu$.

Wzór (120) na $\frac{d\vartheta}{dt}$ przyjmie zatem obecnie postać

$$\frac{d\vartheta}{dt} - \sqrt{-\frac{\beta}{\nu}\vartheta + C_2 e^{+2\nu\vartheta} - \frac{\beta}{\nu^2}} \tag{135}$$

Oznaczmy przez φ_0 wartość φ dla pierwszego półokresu, a przez φ_1 wartość φ dla drugiego półokresu.

Wartości tej nie możemy przyjąć dowolnie, albowiem określona jest ona warunkiem, że dla $\vartheta = \vartheta_1$ obie części krzywej muszą mieć wspólną styczną.

Jeżeli przeto w równaniu (124) wstawimy $-\nu$ za $+\nu$, a φ_1 za φ, to otrzymamy:

$$-\vartheta_1\frac{\beta}{\nu} + \left(\varphi_1^2 + \frac{\beta}{2\nu^2}\right)e^{+2\nu\vartheta_1} - \frac{\beta}{2\nu^2} = 0 \tag{136}$$

Zauważymy, że z chwilą kiedy ustalimy φ_1 w sposób określony równaniem (136), to i druga pochodna w miejscu zbiegu obydwu krzywych będzie ta sama.

Wobec bowiem

$$\left(\frac{d^2\vartheta}{dt}\right)_{\vartheta = \vartheta_1} = 0$$

mamy

$$\left(\frac{d^2\vartheta}{dt^2}\right)_{\vartheta = \vartheta_1} = \beta\vartheta_1$$

a więc identyczne w obu wypadkach.

Postępując jak poprzednio, otrzymamy równanie na φ_1.

$$\varphi_1^2 + 2\nu\, \varphi_1^2\, \vartheta_1 - h^2\, \vartheta_1^2 = 0 \tag{137}$$

lub też pisząc

$$\frac{1}{1 + 2\,\nu\,\vartheta_1} \sim 1 - 2\,\nu\,\vartheta_1,$$

$$\varphi_1^2 = h^2\, \vartheta_1^2\, (1 - 2\,\nu\,\vartheta_1). \tag{138}$$

W równanie to wstawimy wartość na ϑ_1 z (131).

Wtedy, stosując przybliżenia dotychczasowe, otrzymamy

$$\vartheta_1^2 \sim \frac{\varphi_0^2}{h^2}\left(1 - \frac{2\,\nu\,\varphi_0}{h}\right) \tag{139}$$

$$1 - 2\,\nu\,\vartheta_1 \sim 1 - \frac{2\,\nu\,\varphi_0}{h} \tag{140}$$

a więc

$$\varphi_1^2 = \varphi_0^2\left(1 - \frac{2\,\nu\,\varphi_0}{h}\right)^2 \tag{141}$$

lub też

$$\varphi_1 = \varphi_0\left(1 - \frac{2\,\nu\,\varphi_0}{h}\right) \tag{142}$$

W drugim półokresie, analogicznie jak w pierwszym, otrzymujemy

$$\vartheta_1 = + \frac{\varphi_1}{h} + \frac{\nu\,\varphi_1^2}{h^2} \tag{143}$$

$$\vartheta_2 = - \frac{\varphi_1}{h} + \frac{\nu\,\varphi_1^2}{h^2} \tag{144}$$

$$\Delta\vartheta = \frac{2\,\nu\,\varphi_1^2}{h^2} \tag{145}$$

Jeżeli w (145) podstawimy wyraz (141) na φ_1^2, to otrzymamy

$$\Delta\vartheta = \frac{2\,\nu}{h^2}\,\varphi_0^2\left(1 - \frac{2\,\nu\,\varphi_0}{h}\right)^2 \sim \frac{2\nu}{h^2}\,\varphi_0^2 \tag{146}$$

Ponieważ wyraz $\frac{2\nu\varphi_0}{h}$ jest bardzo mały wobec jedności, widzimy, że tłumienie w pierwszym półokresie jest prawie zupełnie równe tłumieniu w drugim półokresie, tak że ostatecznie dla całego okresu możemy napisać

$$\Delta\vartheta = \frac{4\nu}{h^2}\varphi_0^2 \tag{147}$$

a więc

$$\left|\frac{\vartheta_2}{\vartheta_0}\right| = 1 - \frac{4\nu\varphi_0}{h} = 1 - 4\nu\,|\vartheta_0|. \tag{148}$$

Wychodząc z tej przybliżonej równości widzimy, że dla małych zmian wartości ϑ_0 między jednym okresem a drugim wartość prawej strony równania (148) zmienia się bardzo mało. A więc dla małych zmian amplitudy wahań w ciągu n okresów można napisać, jeżeli:

ϑ_0 oznacza amplitudę początkową,

ϑ_n amplitudę po n okresach, $\overline{\vartheta}$ średnią wartość bezwzględnych wartości ϑ_0 i ϑ_n, że

$$\left|\frac{\vartheta_n}{\vartheta_0}\right| = (1 - 4\nu\overline{\vartheta})^n \tag{149}$$

Wzór ten jest dostatecznie dokładny, byle tylko wartość ϑ_n nie odbiegała zbytnio od wartości ϑ_0.

G) Zastosowanie do tłumienia wahadła.

Niech (rys. 13) na wahadło o masie $\frac{p}{g}$ działa siła ciążenia p i siła oporu powietrza

$$R = \pm\rho_0\left(Ł\frac{d\vartheta}{dt}\right)^2 \text{ [1]} \tag{150}$$

gdzie wyraz ρ_0 ma to samo znaczenie, co i poprzednio.

Niech ramię wahadła wynosi $Ł$.

Moment bezwładności wynosi $\frac{p}{g}Ł^2$, moment siły p natomiast $pŁ\sin\vartheta \sim pŁ\vartheta$, moment siły R wreszcie: $RŁ$, ramię zaś w sile oporu $Ł$.

---

[1]) Znak siły oporu powietrza jest zawsze przeciwny kierunkowi ruchu, tj. znakowi $\frac{d\vartheta}{dt}$.

Równanie ruchu wahadła brzmi więc

$$\frac{p}{g} Ł^2 \frac{d^2 \vartheta}{d t^2} \pm \rho_0 Ł^3 \left(\frac{d\vartheta}{d t}\right)^2 - p Ł \vartheta = 0 \text{ [1]} \qquad (151)$$

lub

$$\frac{d^2 \vartheta}{dt^2} \pm \left(\frac{\rho_0 Ł g}{p}\right) \left(\frac{d\vartheta}{d t}\right)^2 = \frac{g}{Ł} \vartheta \qquad (152)$$



Rys. 13.

Oznaczmy obecnie *wyraz tłumienia* przez

$$\nu = \frac{\rho_0 Ł g}{p} \qquad (153)$$

Jeżeli ruch wahadła, obserwowany przy badaniu pocisku Stokesa, istotnie odpowiada równaniu (152), w takim razie oznaczając chwilowo przez F dekrement logarytmiczny, zdefiniowany równaniem

---

[1]) Znak + dla $\frac{d\vartheta}{dt} > 0$, — dla $\frac{d\vartheta}{dt} < 0$;

$$\left|\frac{\vartheta_n}{\vartheta_0}\right| = e^{-\frac{F}{2}t} \tag{154}$$

powinniśmy zgodnie z wzorem (149) mieć równość

$$e^{-\frac{F}{2}t} = (1 - 4\nu\vartheta)^n \tag{155}$$

Oznaczmy przez T okres wahań. W takim razie czas

$$t = n\,T \tag{156}$$

i

$$e^{-\frac{F}{2}n\,T} = (1 - 4\nu\vartheta)^n \tag{157}$$

lub

$$e^{-\frac{1}{2}F\,T} = 1 - 4\nu\vartheta, \tag{158}$$

co wobec bardzo małego ν można napisać w postaci:

$$\frac{1}{2}F\,T = 4\nu\vartheta = \frac{4\rho_0 Ł g}{p}\vartheta \tag{159}$$

ponieważ

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{Ł}{g}}, \tag{160}$$

więc

$$Ł = \text{const.}\ T^2$$

a

$$\frac{1}{2}F\,T = \text{const.}\ T^2 \tag{161}$$

Dla dwu różnych długości ramienia wahadła otrzymujemy:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{T_1}{T_2} \tag{162}$$

Doświadczenie potwierdza ten wniosek.

Jeżeli na rys. 12 punkty krzywej F dla $Ł = 1{,}5$ m pomnożymy przez

$$\frac{T_1}{T_2} = 1{,}156,$$

to przekonamy się, że leżą one zupełnie blisko krzywej, uzyskanej z doświadczenia dla $Ł = 2{,}0$.

Punkty te na rysunku 12 oznaczone są krzyżykami.

Z równania (158) można jednak wyciągnąć i dalsze wnioski.

Ponieważ

$$\left|\frac{\vartheta_n}{\vartheta_0}\right| = (1 - 4\nu\bar{\vartheta})^n \tag{149}$$

więc, biorąc małą amplitudę np. $|\vartheta_0| - |\vartheta_n| = 0{,}5^0$ i kładąc

$$\bar{\vartheta} = \frac{|\vartheta_0| + |\vartheta_n|}{2} \tag{163}$$

powinniśmy otrzymać

$$\frac{1}{n}\log\left|\frac{\vartheta_n}{\vartheta_0}\right| = \log(1 - 4\nu\bar{\vartheta}) \tag{164}$$

Dla bardzo małych $\nu\bar{\vartheta}$, z jakimi mamy do czynienia, możemy napisać z zupełnie wystarczającą dokładnością

$$\log(1 - 4\nu\bar{\vartheta}) = -0{,}4343 \, . \, 4\nu\bar{\vartheta} \tag{165}$$

W takim razie, biorąc kolejno dane doświadczenia dla amplitud od 5^0 do $4{,}5^0$, od $4{,}5^0$ do 4^0 itd. i oznaczając przez n ilość okresów w danych granicach amplitud, powinniśmy mieć stale

$$\frac{1}{n\bar{\vartheta}}\log\frac{\vartheta_n}{\vartheta_0} = j = \text{const.} \tag{166}$$

przy czym, zgodnie z powyżej określoną równaniem (153) wartością ν, powinniśmy mieć

$$\frac{j_{Ł1}}{j_{Ł2}} = \frac{Ł_1}{Ł_2} \tag{167}$$

lub też

$$J = \frac{j}{Ł} = \text{const.} \tag{168}$$

Jeżeli w ten sposób obliczymy wszystkie j i — dla uwolnienia się od błędów doświadczenia — weźmiemy J średnie i przy pomocy tego J obliczymy ponownie amplitudy, z jakimi powinniśmy mieć do czynienia, to przekonamy się, że tak obliczone punkty leżą bardzo blisko krzywych doświadczalnych.

Rysunek 11 przedstawia obliczone tą drogą punkty w postaci krzyżyków. Widać z niego, że dokładność jest zupełnie wystarczająca.

Obliczone we wskazany wyżej sposób $J_1 = \frac{J}{0,4343}$ wynosi — jeżeli ϑ mierzone będzie w stopniach — 0,000230.

Znajomość wyrazu J_1 pozwala nam obliczyć wartość ρ_0. Jeżeli mianowicie wyrazimy ϑ w radianach, to otrzymamy, że

$$J_1 = \frac{4\nu}{Ł} = 1,319 \,.\, 10^{-2} \tag{169}$$

a uwzględniając, że $p = 3,24$ kg mamy

$$\rho_0 = \frac{\nu p}{Ł\, g} = J_1 \,.\, \frac{p}{4\, g}, \tag{170}$$

czyli

$$\rho_0 = 1,08 \,.\, 10^{-3}$$

Gdybyśmy teraz (dla kontroli, czy obliczone w ten sposób ρ_0 nie jest mylne wskutek zastąpienia pocisku punktem materialnym) przyjęli, że — jak poprzednio — pocisk zastąpiony został dwoma punktami materialnymi, odległymi od środka ciężkości L_1 i L_2, to mielibyśmy zupełnie jak poprzednio

$$\rho_0\, Ł^3 = \rho_1\, (Ł - L_1)^3 + \rho_2\, (Ł + L_2)^3$$

Jeżeli więc przyjmiemy, jak to uczyniliśmy, zastępując pocisk jednym punktem materialnym, że $\rho_0\, Ł^3 = (\rho_1 + \rho_2)\, Ł^3$, w takim razie — przy wielkościach L_1 i L_2, z jakimi mamy do czynienia przy pocisku Stokesa wz. 24 — popełniamy przy $Ł = 1,5$ m błąd mniejszy aniżeli 3%, a przy $Ł = 2,0$ m błąd jeszcze mniejszy.

Obliczone z wyżej wymienionego doświadczenia ρ_0 jest nieco za duże, a to z następujących względów:

1) Wyraz $3\,Ł^2\, (\rho_2\, L_2 - \rho_1\, L_1)$ jest przy pocisku skierowanym zapalnikiem na dół (tak jak to zachodziło w wypadku próby) ujemny, a więc ograniczenie się wyłącznie do wyrazu $\rho_0\, Ł^3$ musi z konieczności rzeczy dawać ρ_0 nieco za duże.

2) Tarcie w punkcie podparcia działa również jak czynnik tłumiący ruch. Jakkolwiek wielkość ta nie dała się stwierdzić w czasie przeprowadzonych doświadczeń i wielkość ρ_0 przy obu długościach zawieszenia nie uległa zmianie, niemniej jednak czynnik ten musi wchodzić w grę i częściowo zwiększać ρ_0.

Na podstawie tych i poprzednich rozważań można więc stwierdzić, że wielkość właściwego współczynnika tłumienia dla granatu Stokesa wz. 24 zawiera się w granicach

$$0{,}76 \cdot 10^{-3} < \rho_0 < 1{,}08 \cdot 10^{-3}$$

co daje miarę dokładności, z jaką wyraz ten można wyznaczyć.

Dane te są dość bliskie danym, podanym przez *Wencla, Okuniewa* i *Szapirę.*

H) Wartość wyrazu tłumienia.

Wielkość wyrazu tłumienia, jaką otrzymujemy, wstawiając we wzorze (103) $\rho_0 L_0^2$ zamiast $L^2 D$, a wynosząca

$$\nu = \frac{L_0^2 \rho_0 v}{A} \tag{171}$$

wykazuje, że:

1) Współczynnik ν wzrasta w stopniu pierwszym wraz ze wzrostem szybkości lotu pocisku.

2) Współczynnik ν wzrasta wraz z długością pocisku w stopniu trzecim (bo ρ_0 wzrasta z długością pocisku w stopniu pierwszym).

3) Współczynnik ν wzrasta wraz z potężniejszym ubrzechwieniem pocisku (wzrost ρ_0) i wraz z przesuwaniem środka ciężkości pocisku do przodu (wzrost L_0).

4) Współczynnik ν maleje przy pociskach podobnych w stosunku odwrotnie proporcjonalnym do kalibru (bo ρ_0 i L^2_0 wzrasta w stopniu czwartym, A zaś w stopniu piątym).

WIADOMOŚCI Z PRASY OBCEJ

ITALIA

(RIVISTA DI ARTIGLIERIA E GENIO, FASCICOLO GENIO
wrzesień 1937 r.).

Wykrywanie samolotu za pomocą podsłuchu — przez mjr. inż. D. Memmo.

Wstęp. Rozwój lotnictwa pobudza rozwój środków obrony przeciwlotniczej. Wśród środków tych pokaźne miejsce zajmuje obecnie nasłuch. Pomimo olbrzymich postępów, jakie poczyniło lotnictwo, nie udało mu się jeszcze całkowicie osiągnąć zaskoczenia nieprzyjaciela. Każdy bowiem samolot wydaje w locie kompleks szumów, na które składają się: huk silnika, szum śmigła i odgłosy wydawane przez części samolotu tnące powietrze. Szybkość dźwięku wynosi 340 m/sek., czyli przeszło 1200 km/godz.; przeciętna szybkość samolotów bombardujących nieco przekracza obecnie jedną czwartą tej wielkości. Stąd autor wnioskuje, że dopóki samoloty nie zaczną latać z szybkością dźwięku—co zdaniem autora, nie nastąpi jeszcze tak prędko, dopóty zaskoczenie całkowite jest tu niemożliwe, a więc różne urządzenia nasłuchowe nie tracą swej wartości. Przeciwnie, potrzeba nasłuchowników wzrasta z rozwojem lotnictwa. Obrona przeciwlotnicza rozporządza obecnie następującymi rodzajami nasłuchowników:

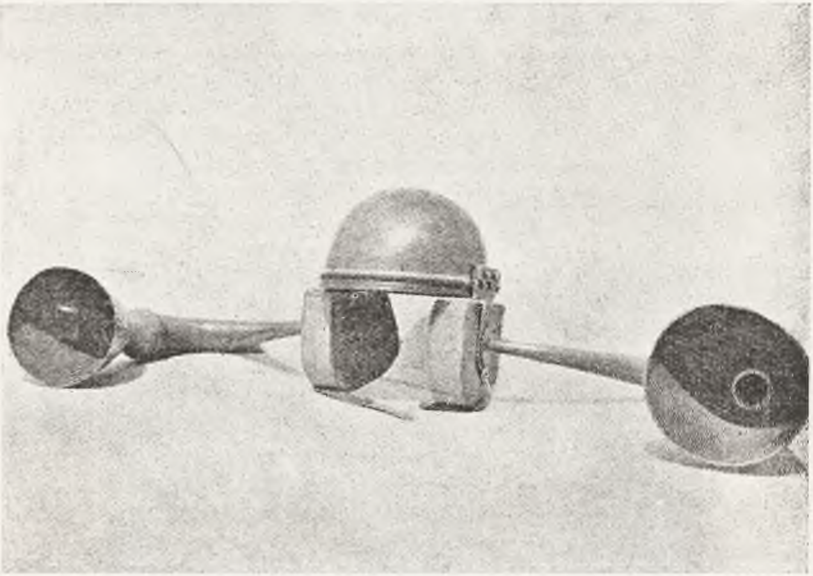
1. Przyrządy mające na celu jedynie wykrycie obecności samolotów i ułatwienie ujrzenia ich w dzień (hełmy nasłuchowe).

2. Przyrządy dla wykrywania i śledzenia akustycznego samolotów (nasłuchowniki małe).

3. Przyrządy służące do pomiaru akustycznego kątowych spółrzędnych samolotów, a to w celu dostarczenia artylerii pl. danych niezbędnych do strzelania (nasłuchowniki duże).

1. Przyrządy do wykrywania samolotów w dzień (hełmy nasłuchowe) są urządzeniami bardzo prostymi; mają one na celu jedynie pewne powiększenie zasięgu i dokładności nasłuchu gołym uchem. Wyniki te osiągamy, dodając uszom muszle nasłuchowe w kształcie trąb (przyrządy Galileo) lub paraboloidów (przyrządy syst. Goerz); w ten sposób powiększamy powierzchnie, zbierające fale dźwiękowe. Ponadto, przez rozstawienie tych muszli powiększamy sztucznie rozstęp naszych uszu (18—20 cm), czyli tak zwaną „podstawę" lub „bazę" nasłuchu 3 do 5 razy, przez co powiększamy dokładność określenia kierunku dźwięku w porównaniu z nasłuchem bez przyrządów. Urządzenia te są lekkie; nakłada się je wprost na głowę obserwatora, stąd ich nazwa „hełmy nasłuchowe". Stanowią one przede

wszystkim wyposażenie posterunków obs-meld. dziennych, ułatwiając uchwycenie samolotu gołym okiem lub w polu widzenia lornetki. Skuteczność tych hełmów w nocy jest znacznie mniejsza, niemniej jednak mogą one oddać pewne usługi, ułatwiając wykrycie zbliżającego się lotnictwa i zmniejszając prawdopodobieństwo zaskoczenia. Wreszcie hełmy nasłuchowe mogą być pożyteczne dla obsługi dużych nasłuchowników, ułatwiając pierwszą ich orientację; szczególniej jest to ważne dla nasłuchowników, których stanowiska nie poprzedza sieć posterunków obs.-meld., jak np. nasłuchowników stojących blisko linii frontu lub na wybrzeżu morskim. Dobre pojęcie o konstrukcji hełmów nasłuchowych dają rys. 1 i 2.



Rys. 1.

2. *Nasłuchowniki małe* są już urządzeniami bardziej złożonymi niż hełmy; zadaniem ich jest nie tylko uchwycenie, ale i akustyczne śledzenie samolotów. By spełnić to zadanie, muszą one mieć zasięg parokrotnie większy niż gołe ucho; także ich dokładność kierunkowa powinna znacznie przewyższać nasłuch nieuzbrojony. Jednak są one znacznie prostsze i łatwiejsze w obsłudze niż nasłuchowniki duże, służące do bezpośredniej współpracy z artylerią. Nasłuchowniki małe mają już dość duże muszle, chwytające sporo energii akustycznej, lepsze doprowadzenie dźwięku do uszu niż hełmy oraz ograniczone pole akustyczne (kąt, w którym jeszcze słychać dźwięk danego źródła).

Nie jest ważne, żeby określały one kierunek akustyczny z dużą dokładnością; szczególnie kąt położenia może być wskazany w dość grubym przybliżeniu, jedynie azymut źródła dźwięku winien być wyznaczony nieco dokładniej, a poza tym dość szybko. Wystarcza to dla wskazania kierunku nalotu npla. Czynność nasłuchiwania wykonywa tu jeden człowiek. Przyrządy nasłuchowe tego typu są przeznaczone do głównych posterunków sieci meldunkowej; zadaniem tych posterunków

jest wykrycie i śledzenie samolotów oraz ich wskazanie goniometryczne sąsiednim posterunkom.

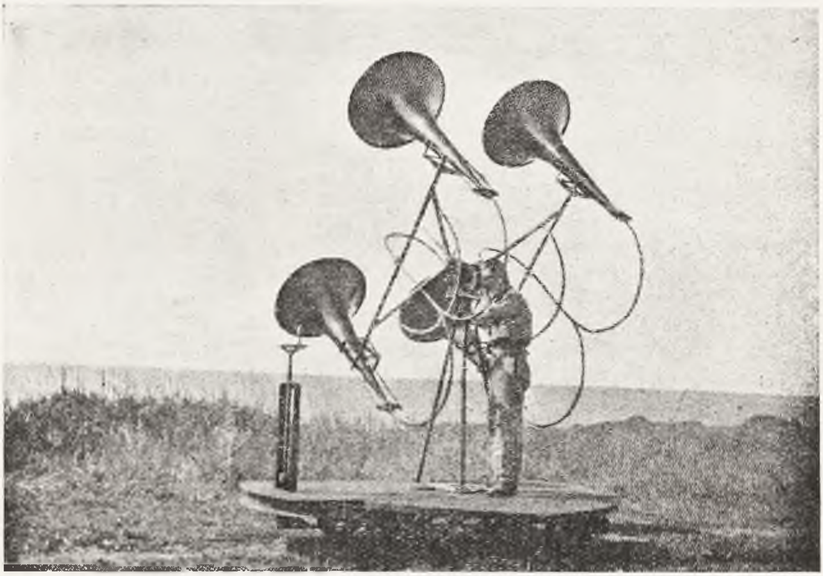
Nasłuchowniki małe pracują głównie w nocy, posterunki będą więc zaopatrzone jednocześnie w przyrządy do obserwacji optycznej dla pracy w dzień; nie przeszkadza to naturalnie, żeby nasłuchownik i w dzień ułatwiał odnalezienie lotnika, szczególnie ze względu na swe większe pole akustyczne niż pole optyczne lornety obserwac. Również w razie złej widzialności w dzień trzeba będzie zadowolić się wyłącznie śledzeniem akustycznym.



Rys. 2.

Posterunki z nasłuchownikami tego typu powinny być rozmieszczone w szachownicę; ich odległość wzajemna powinna wynosić ok. 15 — 20 km, tj. podwójny ich zasięg; w ten sposób żaden samolot nie powinien prześlizgnąć się niezauważony. Dane kątowe, głównie azymuty celów, są przekazywane z różnych posterunków telefonicznie do central; z danych tych centrale mogą znaleźć przybliżoną drogę eskadr, ich szybkość, przybliżoną wysokość oraz prawdopodobny kierunek nalotu. Dane te umożliwiają przygotowanie do obrony biernej i czynnej. Bez małych nasłuchowników praca posterunków obs.-meld. byłaby niezmiernie trudna. Wzrost

wysokości lotów oraz szybkości nie zmniejsza znaczenia tych przyrządów, a przeciwnie powiększa je, gdyż nasłuch uchem gołym stanie się z dalszym rozwojem lotnictwa bardzo utrudniony. Na rys. 3, 4 i 5 widzimy włoskie i inne modele małych nasłuchowników.



Rys. 3.

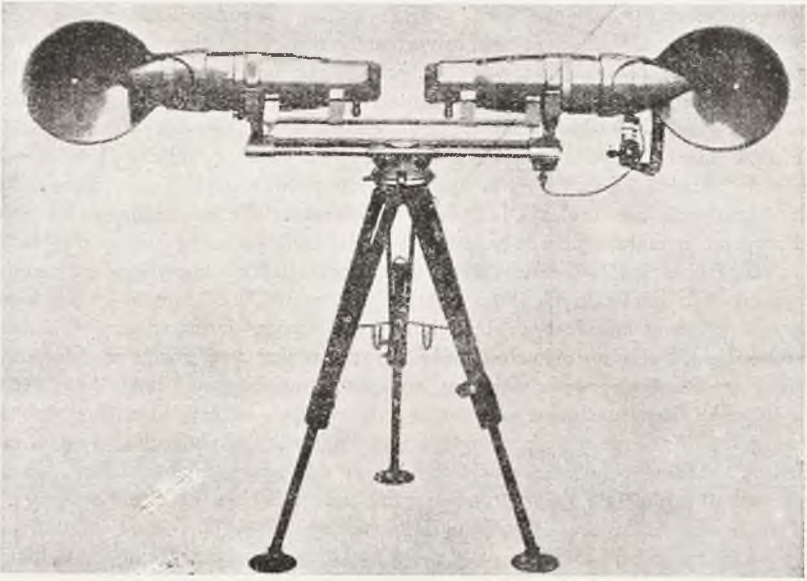
3. *Nasłuchowniki duże* są przyrządami skomplikowanymi; zadaniem ich jest nie tylko powiększenie zasięgu gołego ucha, ale przede wszystkim możliwie dokładne określenie spółrzędnych kątowych celu, dzięki dużemu powiększeniu zmysłu kierunkowego ludzkiego ucha. Przyrządy te umożliwiają określenie akustycznych spółrzędnych w całym obszarze ich skutecznego zasięgu, tj. ok. 7—10 km, co przeciętnie odpowiada zasięgowi reflektorów i armat plotn. Dzięki dobrym cechom kierunkowym dużych nasłuchowników oraz uwzględnieniu różnych poprawek, pomiary ich mogą być wykorzystane dla bezpośredniego wyzyskania ich przez reflektory, bądź też artylerię pl. Czynność nasłuchiwania spełnia tu dwóch ludzi: jeden dla azymutu, drugi dla kąta położenia. Nasłuchowniki duże mają różne przyrządy, pozwalające na uwzględnienie różnych poprawek, a więc: poprawki na czas przelotu dźwięku, na wiatr, temperaturę oraz poprawkę rozwarcia topograficznego (paralaksy); są one przeważnie zaopatrzone w nadajniki do daloprzekazywania elektrycznego (teletransmisji). Nasłuchowniki duże powstały i rozwinęły się dla ułatwienia reflektorom odnalezienia samolotów; jeden z kilku reflektorów (sekcja), zaopatrzony w nasłuchownik, nazywa się „kierunkowym"; reflektor taki „słucha" swego nasłuchownika, który kieruje snopem reflektora. Dopiero po oświetleniu celu pomiary optyczne umożliwiają przyrządom do kierowania ogniem obliczenie elementów strzału dla dział. Autor sądzi, że tego rodzaju metoda nie jest już obecnie zupełnie odpowiednia; do tego celu są potrzebne liczne i kosztowne przyrządy (reflek-

tory z całą aparaturą); ponadto szukanie celu przez reflektor opóźnia rozpoczęcie ognia. To też, zdaniem autora, obecne dążenia skłaniają się ku bezpośredniemu wykorzystaniu danych nasłuchu do strzelania przeciw samolotom „na słuch" bez oświetlenia celu;[1]) strzelanie to nie jest oczywiście dokładnym strzelaniem do

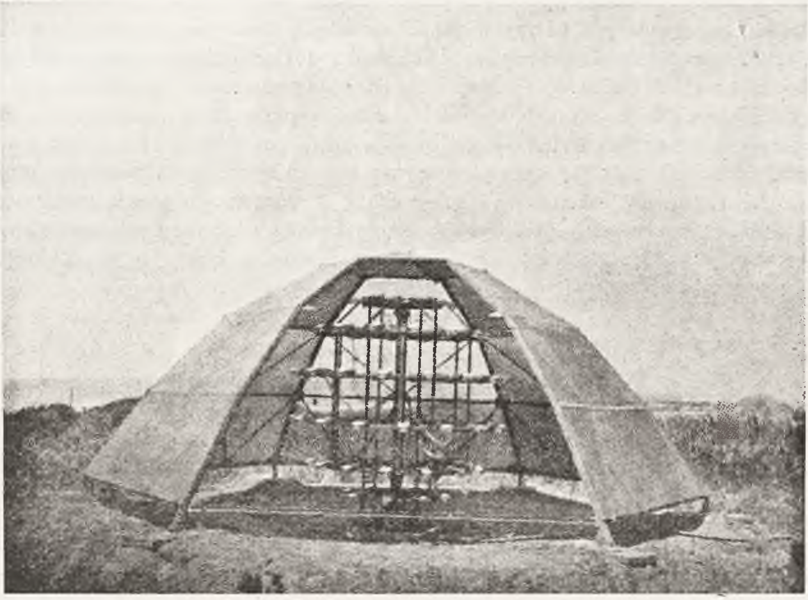


Rys. 4.

[1]) Z tego co pisze gen. Guasco (patrz recenzja na str. 394) widać, że pogląd ten nie jest tylko indywidualnym poglądem autora. Niewątpliwie, w okresach złej widzialności nie znamy obecnie innego lepszego sposobu O. P. L. z ziemi, jak „strzelanie na słuch". Ale, o ile warunki atmosferyczne umożliwiają oświetlenie celu, to strzelanie do celu widocznego jest o tyle dokładniejsze i skuteczniejsze, że nie wolno rezygnować zeń w imię dość wątpliwych — moim zdaniem—walorów „strzelania na słuch", jak: „zaskoczenie", „szybsze otwarcie ognia", „uproszczenie całego aparatu strzelania". Gdy pociski wybuchają o setki i tysiące metrów od celu—co dla ognia zaporowego na słuch, przy obecnym stanie nasłuchu jest rzeczą zupełnie możliwą i pospolitą — to żadne zaskoczenie ani oszczędność czasu nie przeszkodzą eskadrom npla spełnić ich zadania. Takie strzelanie będzie tylko dla npla oczywistym dowodem nieskuteczności obrony (przyp. rec.).



Rys. 5.



Rys. 6.

punktu najprawdopodobniejszego położenia celu, lecz rodzajem ognia zaporowego do pewnego obszaru. Jest to zresztą jedynie możliwy sposób strzelania w czasie złej widzialności na skutek niskich chmur, mgły itp. Nasłuchowniki duże są przystosowane do trakcji samochodowej jako przyczepki; bądź też są półstałego typu.

4. *Nasłuchowniki elektro-akustyczne.* Jak widać z powyższego, nasłuch za pomocą przyrządów posługuje się właściwościami kierunkowymi ucha ludzkiego, dążąc do bezpośredniego uchwycenia dźwięku za pomocą odbiorników (muszli) o kształcie paraboloidów, trąb itp. Czyż nie jest dziwne, pyta autor, że wynalazki elektro-akustyczne nie znalazły jeszcze w tej dziedzinie odpowiedniego zastosowania. Przypisać to należy przede wszystkim małej czułości mikrofonów na dźwięki bardzo słabe oraz ich brakowi selektywności; ucho ludzkie bowiem ma zdolność wykrywania tak minimalnych ilości energii akustycznej, na które mikrofon nie reaguje, a więc wzmocnienie tych dźwięków za pomocą wzmacniaczy lampowych jest niemożliwe. Ponadto, człowiek może skoncentrować swą uwagę na tym dźwięku, który go interesuje, wydzielając w ten sposób interesujący dźwięk od innych pasożytniczych. Przy nasłuchu za pomocą mikrofonów — który to nasłuch możnaby nazwać pośrednim—zdolność rozdzielcza jest znacznie zmniejszona, tym bardziej że obraz dźwiękowy ulega zniekształceniu przy odbiorze i wzmocnieniu. Niemniej jednak technika nie daje za wygraną—i przyrządy nasłuchu elektro-akustyczne zostały zrealizowane. Autor podaje fotografię jednego z takich urządzeń.[1]) (Rys. 6.) Z wypowiedzeniem sądu o tych przyrządach należy jeszcze zaczekać, aż doświadczenie wykaże ich wartość w porównaniu ze zwykłymi, używanymi obecnie nasłuchownikami.

Zakończenie. Nasłuchowniki do wykrywania samolotów osiągnęły dość duży stopień doskonałości technicznej i oddają duże usługi obronie pl. W nocy lub w dnie chmurne i mgliste są one wręcz niezbędne. Znaczenie ich nie powinno zmaleć w miarę dalszych postępów lotnictwa: użycie tych przyrządów pozwala na 3—4-krotne powiększenie zasięgu gołego ucha, a dokładność określenia kątowych spółrzędnych celu jest 10 do 20 razy większa niż przy uchu nieuzbrojonym. Te cechy nie zależą od rozwoju lotnictwa; możliwe w przyszłości zmniejszenie szumu samolotów tym bardziej świadczy o potrzebie nasłuchowników. To samo dotyczy wzrostu szybkości, bo duży zasięg umożliwia wcześniejsze zaalarmowanie obrony. Jak ociemniałemu wydoskonalony słuch pomaga w otaczającym go wiecznym mroku, tak i O. P. L. korzystać będzie szeroko z udoskonalonych i licznych środków nasłuchu.

S. S.

NIEMCY

(*DEUTSCHE WEHR* 1936 r.)

Cechy techniczne nowoczesnej artylerii przeciwlotniczej
[wg Bulletin Belge d. sc. milit.].

Dążenia konstruktorów: zwiększenie pułapu, szybkości początkowej, szybkostrzelności, celności, zmniejszenia czasu martwego. A zatem pułap sięga już do

---

[1]) Jest to prawdopodobnie przyrząd opisany w książce „Handbuch der Experimentalphysik, Technische Akustik, I Teil" E. Waetzman, 1934, Breslau. Patrz recenzję w Przeglądzie Wojsk. Techn., lipiec 1934 r. str. 484, pod tyt. „Przeciwlotniczy celokierunkownik kompensacyjny," kpt. s. s. Bużkiewicz (przyp. rec.).

stratosfery na 13 — 16 km. Z osiągnięciem takich pułapów związane jest wydłużenie znaczne lufy, zwiększenie szybkości początkowej, a co za tym idzie szybkie zużycie się luf i oporników. Pomocnym środkiem są hamulce wylotowe i ulepszone gatunki stali działowej. Poza ulepszeniem konstrukcji działa, dążą też do ulepszenia konstrukcji pocisków, próbując np rozrzedzać powietrze przed pociskiem (wydmuchiwanie specjalnego gazu z głowicy), zaopatrując pocisk w skrzydła stabilizacyjne (?) itp. Spełnianie zadań, jak obserwacja, fotografowanie i rzucanie bomb wymaga obniżenia pułapu samolotu do 3 — 4.000 m i wtedy wystarcza broń mniejszych kalibrów, lecz bardzo skuteczna i szybkostrzelna, kilkolufowa. Lot płatowca ma szybkość 200 — 400 km/godz., a zatem czas obstrzału przy pułapie 7.000 m wynosi 45 — 60 sekund. Czas martwy od chwili spostrzeżenia celu do chwili oddania strzału składa się z 3 czynności: obliczanie z pomocą wylicznika, przekazanie drogą elektryczną komendy na działa, manipulacja z działem (zgrywanie wskaźników albo samoczynne nastawienie działa). Najwięcej czasu zajmuje skalowanie zapalnika (w systemach nowych Vickersa nastawia się on samoczynnie w chwili wsuwania pocisku do lufy).

Inne rodzaje zwalczania celów powietrznych są to: promienie śmierci, fale elektromagnetyczne, obłoki gazowe — jako pomysły. W próbach są podobno pociski podwójno-stożkowe, żelazno-cementowe i inne; bliższe szczegóły są nieznane. Pociski małokalibrowe zostawiają ślad widoczny dymny lub świetlny do 4.000 m (arm. 25 mm Hotchkissa). Dla naboi z ładunkiem zmiennym używa się pocisków łączonych z łuską przy pomocy sprzęgła bagnetowego.

Zapalniki mechaniczne amerykańskie Tavaro mogą być nastawiane ręcznie z dokładnością do $^1/_{20}$ sek; nastawnica automatyczna może skalować 40 zapalników na minutę, kalibru 75 — 90 mm. Stosowany jest bezpiecznik podwójny: odbezpieczenie pierwsze — w czasie wystrzału, drugie — przy osiągnięciu pewnej szybkości lotu. Zapalniki uderzeniowe współczesne bardzo czułe odbezpieczają się po przelocie kilkuset metrów [przykład: na odległości bliskiej od wylotu pocisk przebił deskę grubości 300 mm, poczem na odległości kilkuset mtr. edsplodował przy uderzeniu o tekturę grubości 4 mm]. Samolikwidacja zapalników na opadającej gałęzi toru odbywa się w ten sposób, że iglica działa na spłonkę, gdy szybkość lotu spadnie odpowiednio lub po pewnym nastawionym lub stałym czasie (np. 7 sek. w pociskach 20 mm Oerlikon).

Pomimo tych licznych pomysłów, dążących do udoskonalenia broni plotniczej, można uważać, że walka pomiędzy lotnictwem a artylerią plotniczą znajduje się dopiero ***w studium początkowego swego rozwoju*** i nie można jeszcze decydować, co przeważy szalę.

(*WEHRTECHNISCHE MONATSHEFTE* 1936 r.)

1. Oficer - inżynier — W. Brandt.

Sprawa potrzeby posiadania w wojsku oficerów z technicznym wykształceniem oraz ich tam stanowiska wypłynęła w wojsku niemieckim na nowo. Autor rozważa, w jaki sposób możnaby zdobyć tych inżynierów. Odkomenderowanie na wyższe studia techniczne oficerów na przeciąg $4^1/_2$ lat, płacąc im za ten czas pensje, kosztuje państwo dużo i powstaje pytanie, czy się to opłaci. Wszak studia teoretyczne są tylko cząstką wyszkolenia inżynierskiego, potrzebne są jeszcze całe

lata praktyki, aby stać się istotnym pełnowartościowym inżynierem. Nie może być mowy, aby państwo znów na swój koszt posyłało „świeżo upieczonego" inżyniera na 2 — 4 letnią praktykę w przemyśle, z drugiej zaś strony taki oficer rzadko ma sposobność pogłębienia w wojsku swych technicznych wiadomości. Powstaje tedy dla inżyniera dyplomowanego niebezpieczeństwo połowiczego wyszkolenia.

Znacznie mniej kosztuje odsyłanie młodszych oficerów na 2 letnie przeszkolenie do szkół technicznych średnich i taki technik doskonale daje sobie radę tam, gdzie nie trzeba wiadomości zbyt specjalnych. Uczy się on mniej teorii, ale za to dużo wiadomości praktycznych.

Obecna chwila nadaje się, aby uzyskać dla wojska inżynierów pierwszorzędnych, oficerów frontowych, którzy po wojnie ukończyli studia i dotychczas zajmują się praktyką. Oczywista, powinno się im zaliczyć do służby wojskowej lata praktyki inżynierskiej.

W przyszłości, wobec dzisiejszego znaczenia techniki, należy poszukać innych dróg. Rola kopciuszka dla „tylko inżynierów" w przyszłym wojsku nie będzie miała racji bytu: korpus inżynierów i korpus oficerów muszą być uważani za jedno ciało, przy czym techniczne stanowiska będą przeznaczone dla oficerów z wykształceniem technicznym. Studia na koszt rządu będą zezwolone tylko wyjątkowo i tylko na przeciąg 2 lat w szkole technicznej. Młodzi ludzie z technicznym średnim wykształceniem będą awansowani na oficerów i zwróci się im koszty kształcenia (np. 2.000 mk). Kandydat na oficera z dyplomem inżynierskim, lecz bez praktyki, będzie traktowany jak technik, mającym zaś 2 — 4 lat praktyki, zaliczy się czas studiów i praktyki oraz przyzna się zwrot kosztów (np. 4.000 mk). Przy takich warunkach można oczekiwać silnego dopływu inżynierów do zawodu oficerskiego, którzy następnie, zależnie od swych zdolności, otrzymają odpowiednie stanowiska w różnych technicznych wojskowych instytucjach.

Studium techniczne jest dzisiaj równie ważne jak w akademii wojskowej, a łatwiejsze wcale nie jest. *Oficer inżynier jest dowódcą w przyszłej wojnie*, należy z tym się liczyć już w czasie pokoju.

Do powyższych zapatrywań dodaje swoje uwagi redaktor czasopisma ppłk Justrow, nadmieniając, że teoretyczne rozważania autora o upośledzeniu dotychczasowym — oficerowie wojsk technicznych dawnej armii odczuli na swej skórze i stwierdzą z zadowoleniem, że nareszcie udało się uzyskać prawo obywatelstwa dla tytułów: „inżynier - oficer" lub „doktór - oficer". (Tytuły te były dawniej w wojsku niemieckim zabronione). Jednak oficer inżynier musi długi czas pozostawać na stanowisku asystenta czy innego pomocnika, aż nabędzie taką praktykę, że zdoła zająć odpowiedzialne stanowisko np. w Ministerstwie. Sprawa techników dyplomowanych też zasługuje na uwagę przy obsadzaniu stanowisk, np. w laboratoriach, urzędach odbiorczych itp. korpusu uzbrojenia.

2. *Technika i gospodarka w obronie kraju* — kpt. rez. Weseman.

Jest to streszczenie referatu wygłoszonego w Tow. Wiedzy Wojskowej. W obronie kraju obok żołnierza bierze nie mały udział świat inżynierski, przemysł i gospodarka narodowa. Jest rzeczą ważną, aby cały naród, a przede wszystkim młodzi inżynierowie zapoznali się dokładnie z tymi sprawami. Zrozumienie spraw wojskowo-technicznych należy tak propagować, jak politykę i wszelkie inne idee światowej ważności. Referat zawiera rozdziały: 1) Zakłady fabryczne. 2) Wyrób

broni i amunicji. 3) Warsztaty doświadczalne i badawcze. 4) Zagadnienie surowców. 5) Środki obrony. 6) Regulowanie transportu. 7) Regulowanie gospodarki. 8) Wyszkolenie personelu. Podajemy streszczenie główniejszych myśli z niektórych rozdziałów oraz krytykę ich przez ppłka Justrowa.

Rozdz. 1. Według obliczeń franc. gen. Debeney dla uzbrojenia jednego żołnierza w przyszłej wojnie potrzeba będzie 8 ludzi na tyłach. Wytwórczość wojenna w stosunku do pokojowej wzrosła w 1914 r. 80 krotnie, w 1918 r. — 200 krotnie, w przyszłości wzrośnie zapewne 300 krotnie. Autor jest przeciwny zakładaniu przez państwo dużych wytwórni, ponieważ są one nieekonomiczne.

Zapatrywanie to zbija ppłk Justrow, dowodząc, że ekonomiczność zakładów państwowych wobec innych zadań ważniejszych, jakie spełniać mają, stoi na drugim planie i że dla rozwoju nowego sprzętu i nowych metod pracy są one niezbędne, a to musi być oparte na doświadczeniach przy wyrobie sprzętu normalnego; służą one również dla wyszkolenia techniczno-wojskowego personelu. Zresztą prowadzone należycie przez fachowców wytwórnie państwowe mogą również pracować ekonomicznie. [O zadaniach wytwórni państwowych—patrz to samo czasopismo XI 1935 r., str. 509].

Rozdz. 2. Tworzenie dostatecznych zapasów sprzętu uzbrojenia stoi w przeciwieństwie do technicznego postępu w wyrobie. Utrzymywanie zapasów dłuższych niż dwu lub trzymiesięczne jest niemożliwością ze względów finansowych, bo wartość ich—wynosi miliardy. Półroczne zapasy amunicji kosztowałyby 4 — 5 miliardów marek. Sprzęt wojenny stosunkowo szybko staje się przestarzały: samoloty po 3 latach, działa po 10 latach. Wobec broni samoczynnej karabin stał się bronią przestarzałą. Racjonalniej jest przygotować się do szybkiego wyrobu nowego sprzętu i to jest najważniejszym zagadnieniem mobilizacji przymysłowej. Tak należy zorganizować cały przemysł, aby w ciągu 2 — 3 tygodni można było przystąpić do wyrobu masowego i osiągnąć największą wydajność po 2 — 3 miesiącach. Każdy kraj dąży do samowystarczalności; wysokim wymaganiom stawianym tworzywom często nie odpowiadają rodzime materiały. Zachodzi potrzeba zredukowania tolerancyj wymiarowych i ciężarowych do średnich wartości przemysłowych. Przeprowadza się wszędzie zasadnicze przekonstruowanie z punktu widzenia gospodarczego i technicznego. Ważnym warunkiem jest prostota konstrukcji i możliwość stosowania normalnych obrabiarek zamiast specjalnych przy najsprawniejszych metodach pracy i stosowaniu najnowszych procesów technologicznych. Tymczasem obecna amunicja piechoty wymaga np. 90% maszyn osobliwych, łuski artyleryjskie — 65%, pociski artyleryjskie — 45—50%. W budowie broni mogą znaleźć zastosowanie masy plastyczne (łoża karabinowe); potrzebne są łuski łatwo wyrabiane bez użycia maszyn specjalnych; trudne zagadnienie wyżarzania mosiądzu należałoby wykluczyć.

W tym rozdziale ppłk Justrow znajduje dużo nieuzasadnień technicznych. Wielkość zapasów zależy nie od dowolnie przyjętego czasu, lecz od przygotowania ewent. przeciwnika i od czasu, jaki potrzebny jest dla przygotowania przemysłu do zaopatrywania wojska. Mylnie twierdzi autor, że konstrukcja dział w ciągu 10 lat staje się już przestarzałą; współczesne konstrukcje, opracowywane w ciągu dziesiątek lat, doszły do takiego stanu rozwoju, że nowości mogą dotyczyć jedynie szczegółów, lecz nie całego ustroju. I chociaż dzisiaj buduje się coraz to lepsze działa, lecz działa czasu wojennego są jeszcze zdatne do użytku [np. niemiecka hb. pol. wz. 13 lub arm. 100 mm wz. 14, a i karabin wz. 98 jeszcze spełnia swe przeznaczenie, ponieważ nikt nie kwapi się wprowadzić całkowitego przezbrojenia w nową jakąś broń]. Zmiana w tolerancjach wyrobu broni nie jest pożądana, albowiem może

wpłynąć ujemnie na celność tejże, a np. zbyt rozległe tolerancje w wymiarach pocisków artyl. stworzą potrzebę dalszego grupowania pocisków [rozróżnianych wg tolerancji ciężarów] i utrudnią warunki strzelania. Maszyn specjalnych do wyrobu amunicji nie da się zastąpić normalnymi obrabiarkami, jak to widać właśnie z podanego odsetka koniecznych maszyn specjalnych w tej gałęzi produkcji. Dzięki wynalezieniu tych maszyn syst. Poltego i stosowaniu wyżarzania udało się wykonywać łuski, które nie więzną po strzale w lufie i dają się wielokrotnie rekonstruować. Na wszelkie sprawy wytwórczości należy patrzeć nie z punktu widzenia prostoty wyrobu, lecz ze stanowiska przydatności gotowego przedmiotu na polu walki. Wyjątkowo ważnym zagadnieniem jest różnica w produkcji pokojowej i wojennej. Metody wyrobu i surowce przewidziane na czas wojny muszą być dokładnie wypróbowane uprzednio. Sprzęt zaś czasu pokojowego musi być najwyższej jakości, bo może zaważyć na wyniku pierwszych najważniejszych działań wojennych. Dopiero gdy wojna się przeciągnie i gdy przeciwnik też wyczerpie swe odwody, można przy produkcji wojennej zgodzić się na pewne ustępstwa, o ile są one nieuniknione. Wtedy można poszerzyć telerancje i obniżyć cokolwiek jakość tworzyw licząc się również z obniżeniem wartości broni: większy rozrzut, możliwość pękania luf itp.

Rozdz. 8. Na początku wojny Niemcy mieli do dyspozycji 75 — 80.000 fachowych sił inżynierskich, co stanowiło jakie 20% potrzebnych techników i inżynierów. W 1930 r. pozostało w wojsku zaledwie 5 — 6.000 techników fachowców. Francja i Rosja miały wówczas 160.000 i 220.000 inżynierów doświadczonych w wyrobie sprzętu uzbrojenia. Obecnie we wszystkich krajach ilość inżynierów wojskowych jest znacznie większa niż była przed wojną, a wszyscy technicy powinni być obeznani z techniką wojenną. Inżynierowie rezerwy są równie potrzebni jak oficerowie rezerwy.

O palącym zagadnieniu szkolenia młodych inżynierów pisano wiele, np. w artykułach następujących: prof. Glauner. „Rundschau Technischer Arbeit", 22 I 1936; dr inż. Schwob. „Burschenschaftlichen Blätter". III 1936; inż. Pellny. „Deutsche Technik", V 1936 oraz na łamach „Wehrtechnische Monatshefte". Ponadto p. „O mobilizacji przemysłowej" w „Revue Militaire Française", II 1936 — jest to artykuł, który porusza sprawy podobne do wyżej omawianych.

3. *Wzrost sprawności broni palnej z lufami stożkowymi* — ppłk. Justrow.

Na łamach tegoż czasopisma niemieckiego omawiał szczegółowo prof. dr inż. Schmitz (IV.35 r.) teorię ruchu pocisku w lufie stożkowej [1]), a w czasopiśmie Ztschr. f. d. ges. Schiess- und Sprenstoffwesen w 1933 i 1934 r. Waninger wskazywał na możliwości wzrostu sprawności niemieckiego karabina i jego pocisku przy zastosowaniu przewodu stożkowego. Autor niniejszego artykułu zajmuje się roważaniem wykonania i użycia praktycznego tego wynalazku.

Gdy w 1903 r. C. Puff wystąpił z propozycją stosowania luf stożkowych, doświadczenia jego nie udały się ze względu na trudności wykonania takich luf i prowadzenie pocisku w lufie. Po wielkiej wojnie wznowiono tę ideę, gdy zaczęto wymagać od karabinów ręcznych i maszynowych płastszych torów i większych donośności, od dział, zwłaszcza p-lotniczych—większej mocy, a od pocisków przeciw-

---

[1]) P. W. T. U. Nr 36, str. 275.

pancernych — większej siły przebijającej. Sprawą tą zajął się Gerlich i dokonywał doświadczeń z karabinami w różnych krajach. Doświadczenia te, jak się zdaje, wypadły dodatnio, lecz nic nie wiadomo o praktycznym ich zastosowaniu [1]), bo zapewne wystąpiły różne trudności, które należy pokonać, a wyjaśnienie ich przyczyni się do usunięcia uprzedzeń czy pewnych przesądów.

Najprostszą drogą podwyższenia mocy broni palnej jest powiększenie komory ładunkowej i wydłużenie lufy, prowadzi to jednak do niedogodnego wzrostu ciężaru. Aby tego uniknąć, Gerlich zwiększył ładunek jedynie przez zwiększenie średnicy komory ładunkowej, natomiasł lufę zwęził stopniowo w stożek, przez co wykorzystuje się lepiej ciśnienie dławionych przed wylotem gazów. W rzeczywistości doświadczenia te wykazały znaczny przyrost ciśnienia gazów, który jednak pochodził głównie stąd, że użyto prochu żywszego i silniejszego. Lufę należało wzmocnić i oszczędności na ciężarze właściwie się nie uzyskało. Lufa cylindryczna mogłaby zresztą wykazać tę samą moc, gdyby użyć w niej prochu silniejszego. Jeżeli nawet zgodzimy się na nieznaczny wzrost sprawności luf stożkowych, to pozostaje jednak poważną wada tej broni w postaci zwiększonego rozrzutu, a zatem zmniejszonej celności; przyczyną tego zjawiska jest nie ściśle centralne prowadzenie pocisku w lufie. Powstają też trudności w wyrobie pocisku z dużymi kryzami. Ten sposób prowadzenia pocisku wywołuje szybsze zużycie się lufy. W lufach działowych (doświadczeń dotychczas takich nie prowadzono) powyższe strony ujemne wystąpiłyby jaskrawiej (większe zużycie miedzi na pierścienie wiodące, większy rozrzut). Pociski artyleryjskie musiałyby być znacznie mocniejsze. Wyrób luf stożkowych jest rzeczą bardzo trudną, chociaż gwint musiałby być stały; konstrukcja taka pociągnęłaby za sobą zawikłaną kontrolę odbioru i trudniejszą pielęgnację sprzętu w służbie. Nowe trudnosci powstają w razie potrzeby posiadania rdzeni wymiennych.

W każdym razie dotychczasowe doświadczenia z lufami stożkowymi nie dają jeszcze jasnego obrazu, zwłaszcza co dotyczy sprawy stożkowatości, długości odcinka cylindrycznego u wylotu, rodzaju gwintów i ich skrętu, ukształtowania pierścieni wiodących; rozwiązanie balistyczne to dopiero początkowe stadium zagadnienia, największe trudności będą się piętrzyły przy wyrobie masowym i przy zastosowaniu. Obecnie mało jest jeszcze widoków na rozwiązanie praktyczne stosowania luf stożkowych z ekonomicznego punktu widzenia. Raczej należałoby zająć się dalszym ulepszaniem luf cylindrycznych, ich pocisków i prochów.

(*WISSEN UND WEHR* 1937 r.).

Gen. por. dr inż. Heinrich Rohne, członek honorowy Towarzystwa Wiedzy i Polityki Wojskowej, zmarł dnia 25 IX 37 r. w wieku lat 95 i do ostatniej chwili swego długiego życia pracował na niwie technicznej wiedzy wojskowej. Za wybitne zasługi na tym polu otrzymał doktorat honorowy Politechniki w Charlottenburgu gdy miał 90 lat. Gen. Rohne był artylerzystą i w czasie swej czynnej służby pracował już naukowo. Rozważania swoje o teorii strzelania i nauce o broni oparł na własnych doświadczeniach wojennych z 1864, 1866 i 1870 r. Posiadał on wielostronne wykształcenie wojskowe: uczęszczał do Akademii Wojskowej, był wykładowcą

[1]) W Anglii wprowadzono jakoby na uzbrojenie kb. Gerlicha (p. W. T. U. Nr 37, str. 436).

w szkołach wojskowych, był szefem wydziału badawczego w Art. Kom. Doświadczalnej, dowódcą pułku a następnie brygady art. W 1899 r. w wieku lat 57, gdy był komendantem Torunia, musiał opuścić szeregi wojska z powodu choroby uszu. Będąc na emeryturze poświęcił resztę swego życia głębokim studiom naukowym o zagadnieniach artyleryjskich, a zwłaszcza z balistyki, teorii strzelania artylerii i piechoty i publikował je w licznych pracach, idąc zawsze z postępem czasu. W 1907 r. stworzył on organ fachowy: „Artilleristische Monatshefte", którego był czynnym redaktorem w ciągu 20 lat. *W.*

ROSJA SOWIECKA

(TIECHNIKA I WOORUŻENJE — XII 1937 r.).

Współczesna artyleria przeciwlotnicza okrętowa.

Niezwykle szybki rozwój lotnictwa wojskowego w ciągu ostatnich trzech lat oraz udoskonalenie sposobów jego bojowego przystosowania stawiają przed artylerią przeciwlotniczą wszystkich rodzajów broni—cały szereg zupełnie nowych wymagań, które zasadniczo zmieniają nie tylko techniczną charakterystykę współczesnego działa przeciwlotniczego, lecz i pewne zasadnicze idee, będące podstawą rozbudowy artylerii przeciwlotniczej z okresu powojennego, tj. z lat 1925—1930, gdyż przedtem rozwój artylerii przeciwlotniczej równał się prawie zeru. Okrętowa artyleria przeciwlotnicza, poza ogólnymi dla całej artylerii przeciwlotniczej żądaniami, posiada jeszcze dodatkowe, wypływające ze specjalnych warunków jej eksploatacji, charakterystyki, zadośćuczynienie którym wymagać będzie dużych zmian w systemie uzbrojenia okrętu w środki OPL.

Podstawowymi momentami rozwoju lotnictwa wojskowego, wywierającymi wpływ na rozwój artylerii przeciwlotniczej, są:

1) zwiększenie szybkości lotu.
2) przedłużenie żywotności samolotu (czasokresu użyteczności),
3) zwiększenie skuteczności bombardowania.

Rozpatrzymy więc, o ile każdy z wymienionych wyżej momentów wpływa na zmianę technicznych charakterystyk środków artylerii przeciwlotniczej, dążącej i w nowych warunkach do pomyślnej walki z lotnictwem. Ze względu na to, że klasa okrętu (rodzaj), na którym będzie ustawiona artyleria przeciwlotnicza, posiada wielki wpływ na charakterystykę tej armaty, dla tego też w omówieniach wzięto pod uwagę okręt z klasy kontrtorpedowców, dla których najbardziej realną będzie wysokość lotu płatowca bojowego (pułap) wynosząca około 2000 metrów. Pracę bojową artylerii na tego rodzaju okrętach ograniczono kołysaniem przy kącie pochylenia (przechyłu) — 15^0. Rozumowania będzie więc można zastosować i do innego typu okrętów, wprowadzając odpowiednie poprawki na niedokładności wynikające z taktyczno-technicznych charakterystycznych porównywanych okrętów w stosunku do wyżej podanego typu. W okresie powojennego rozwoju artylerii przeciwlotniczej szybkości lotu lotnictwa wojskowego wyrażały się następująco:

— samoloty bombardujące — 180 km/godz. tj. 50 m/sek.
— „ myśliwskie — 300 km godz. „ 84 m/sek.

Taka szybkość przesuwania się celu powietrznego na wysokości 2000 m wymagała od działa przeciwlotniczego, ustawionego na platformie poziomej, szybkości celowania 2—$2{,}5^0$ na sekundę, aby bez przerwy móc śledzić za celem.

Zwiększona (dodatkowa) szybkość celowania u działa okrętowego, spowodowana kołysaniem okrętu typu kontrtorpedowców — wynosić będzie około 7^0 na sekundę. Wobec powyższego dla działa przeciwlotniczego okrętowego żądano szybkości celowania wynoszącej 9—$9{,}5^0$ na sekundę. Praktycznie jednak szybkość celowania wynosiła około 8^0 na sek, co było granicą dokładności w celowaniu i możliwości ręcznego obsługiwania mechanizmów, gdyż wówczas prawie wszystkie typy dział były obsługiwane bez pomocy przyrządów elektrycznych.

Szybkość lotu aparatów myśliwskich wprowadzonych na uzbrojenie w 1937 r. w Ameryce i Anglii („Hawkor" — 1936) wynosi 500 km/godz. czyli 140 m/sek., a u samolotów bombardujących („Rothemere", „Douglas" i inne)—około 450 km/godz. czyli 125 m/sek.

Szybkości takie wymagają już od armaty przeciwlotniczej, ustawionej na platformie poziomej, szybkości celowania równej 4,5 — 5^0 na sekundę, a od armat ustawionych na kontrtorpedowcach—około 12^0na sekundę. Tak szybkiego celowania ręcznie wykonać nie można—i dlatego współczesna okrętowa armata przeciwlotnicza musi posiadać instalacje elektryczne, które jednak nie mogą być „automatyczne" na dziale, lecz synchronizowane z „MPUAZO" („morskoj pribor uprawlenja awiazenitalnym ogniom"), tj. z wylicznikiem przeciwlotniczym i pracujące wg niego, gdyż duże szybkości celowania powodują bardzo szybki obrót zgrywanych strzałek, co znów w dużym stopniu utrudnia celowanie lub czyni je niemożliwym.

Wielkie szybkości samolotów powodują, że armaty przeciwlotnicze, chcąc zwiększyć prawdopodobieństwo trafienia, muszą zwiększać swą szybkość początkową, co pociąga za sobą niezbędność wydłużenia luf. Jeszcze jednym następstwem, wynikającym z wielkiej szybkości celów powietrznych, jest to, że walka z przeciwnikiem powietrznym odbywać się będzie w ciągu bardzo krótkiego okresu czasu. Naprzykład, jeżeli będziemy mogli spotkać przeciwnika w odległości 7 km (odległości poziomej), to nawet i wtedy walka trwać będzie nie dłużej niż 1 minutę. Okoliczność ta stawia żądanie w stosunku do współczesnych środków artylerii przeciwlotniczej—dużej elastyczności ognia i dużej szybkostrzelności. Żądaniu temu zadośćuczyni armata mniejszego kalibru o dużej mocy.

Samoloty z okresu wojny światowej i późniejszego były bardzo wrażliwe i łatwe do unieszkodliwienia. gdyż wszystkie najżywotniejsze ich części były „otwarte" tj. nieopancerzone. Np. linki sterowe przeprowadzone były z zewnętrznej strony kadłuba samolotu (wzdłuż), silnik i zbiorniki z benzyną nie były chronione, sama konstrukcja samolotu również nie grzeszyła zbytnią wytrzymałością—i dlatego wystarczało jednego wybuchu szrapnela, mniej lub więcej udanego w pobliżu samolotu, by go usunąć z szeregu walczących aparatów. Wówczas w artylerii przeciwlotniczej zjawiły się pociski specjalne kształtu trzonowego z zapalnikiem rozpryskowym lub szrapnele, które zamiast zwykłych lotek posiadały podłużne pręty z charakterystycznym zakończeniem posiadającym własności przebijania i gięcia. Później zastosowano pociski działające swymi odłamkami. Lecz samoloty współczesne są już bardzo mało podobne do samolotów produkowanych do 1930 roku. Wyróżniają się one dużą wytrzymałością kadłuba, wszystkie części żywotne samolotu są schowane wewnątrz i opancerzone. Najbardziej wrażliwe miejsce—zbiorniki z benzyną, która zapalała się nie tylko na skutek trafienia pociskiem lecz i wprost od pracy silnika—obecnie przestanie być tym groźnym „memento", gdyż zastąpi ją bardziej bezpieczna ropa naftowa.

Zagadnienie silnika lotniczego Diesela pędzonego ropą naftową—jest już roz-

wiązane; istnieją już silniki tego typu o mocy 800 KM i prawdopodobnie będą należycie wykorzystane przez lotnictwo wojskowe, nie bacząc na ich duży ciężar właściwy, równy 1,2 kg na 1 KM wobec 0,7 kg w silnikach benzynowych, a to ze względu na niezastąpioną właściwość—pełne bezpieczeństwo w czasie pracy bojowej samolotu. Ponadto należy wziąć pod uwagę, że diesele te zużywają o 30% mniej paliwa aniżeli silniki benzynowe. Współczesny i przyszły samolot odznaczać się będzie dużą żywotnością, a trafienie go (unieszkodliwienie) wymagać będzie bardziej silnego działania, a więc działania kruszącego przy trafieniu w samolot.

Z powyższego wypływają dwa żądania pod adresem artylerii przeciwlotniczej:

a. Współczesna armata przeciwlotnicza powinna strzelać pociskiem o działaniu kruszącym, posiadającym taką ilość materiału wybuchowego, by przy trafieniu w jakąbądź część samolotu—unieszkodliwić go, tj. usunąć z szeregu walczących. Oczywista, że pocisk musi posiadać bardzo czuły zapalnik.

b. Armata powinna całkowicie zapewniać trafienie pocisku wprost do celu.

Dobre wyniki otrzymać można strzelając do współczesnych samolotów już od kalibru 40 mm, ponieważ pocisk posiada dostateczną ilość materiału wybuchowego. Drugie żądanie, pomimo wykorzystania współczesnych przyrządów do kierowania ogniem artylerii przeciwlotniczej, powinno być osiągnięte kosztem zwiększenia szybkości początkowej pocisku, skracającej czas lotu, jak również kosztem dużej szybkostrzelności.

Znowu więc przychodzimy do wniosku, że zwiększenie żywotności samolotu wysuwa zagadnienie o nowym pocisku i nowej małokalibrowej automatycznej armatce o dużej mocy.

Należy na tym miejscu podkreślić następującą okoliczność. wypływającą ze specjalnego dzisiejszego stanu techniki lotniczej.

Z przytoczonych powyżej danych jest rzeczą widoczną, że lotnictwo bombardujące w rozwoju szybkości lotu dogoniło już lotnictwo myśliwskie, co jest równoznaczne z tym, że lotnictwo myśliwskie nie jest już dzisiaj tym wysokowartościowym, pełnym nadziei środkiem obrony przeciwlotniczej, jakim było do ostatnich czasów. Przy stosowaniu przez samoloty bombardujące ewolucyj bojowych lotnictwo myśliwskie—przy tak małej przewadze szybkości—przepuszczać będzie nieprzyjaciela. Okoliczność ta ponownie stawia zagadnienie znaczenia artylerii przeciwlotniczej w systemie obrony przeciwlotniczej. Należy oczekiwać. że w chwili obecnej na dolę artylerii przeciwlotniczej przypadać będzie daleko więcej celów aniżeli dawniej, gdy lotnictwo bombardujące było powolne. Stąd i ważniejsza rola artylerii przeciwlotniczej i niezbędność jej zwiększenia.

Z powyższego wynika, że najbardziej pożyteczną armatą przeciwlotniczą na okręcie typu kontrtorpedowca jest 40 mm automatyczna armatka o dużej mocy o pociskach kruszących i działaniu uderzeniowym.

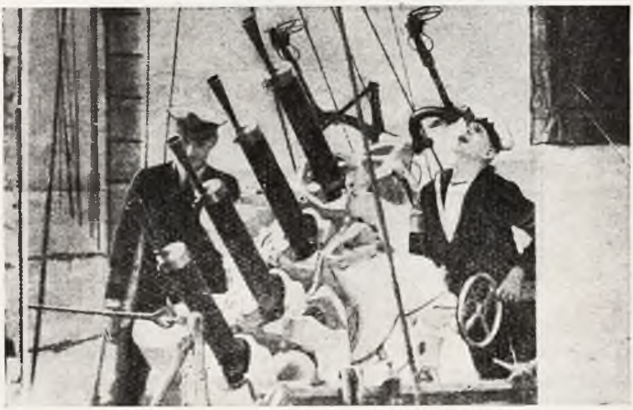
Jeżeli rozważania te przystosować do okrętów klasy krążowników i liniowych, to konieczne jest postawienie żądania, by armata przeciwlotnicza mogła razić cele znajdujące się na wysokości do 5 km, a biorąc pod uwagę rozwój techniki lotnictwa bombardującego, nawet do 7 km.

Zachodzi pytanie, czy działko 40 mm może wykonać takie zadanie. Ogólnie mówiąc, można dać odpowiedź potwierdzającą, ponieważ dając temu działku potrzebną szybkość początkową pocisku, tym samym zabezpieczymy krótki czas lotu

pocisku do celu, lecącego na wysokości 5—7 km i w przybliżeniu na takiej odległości od okrętu—co gwarantuje skuteczność ognia. Dla okrętów o mniejszym tonażu armatka ta całkowicie zadośćuczyni potrzebom OPL.

Należy jednak wziąć pod uwagę i tę okoliczność, że okręt będzie posiadać ograniczoną ilość armat przeciwlotniczych, która okaże się zbyt mała dla odparcia ataku z powietrza. Dlatego też zajdzie potrzeba przystosowania do walki z nieprzyjacielem z powietrza dział o innym przeznaczeniu znajdujących się na okręcie, np. przeciwtorpedowych, posiadających podstawy przeciwlotnicze. Jednak z racji szybkostrzelności do działań przeciwlotniczych mogą być użyte działa o kalibrze maximum do 130 mm, posiadające szybkostrzelność 12—15 strz./min.

W stosunku do celów powietrznych na niższych pułapach, a więc samolotów szturmowych i „torpedowców powietrznych" będą miały zastosowanie wielkokalibrowe karabiny maszynowe i działka automatyczne o kalibrze 12—25 mm, których ilość na okręcie każdej klasy może być dowolna, tj. odpowiadająca zadaniom chwili obecnej.



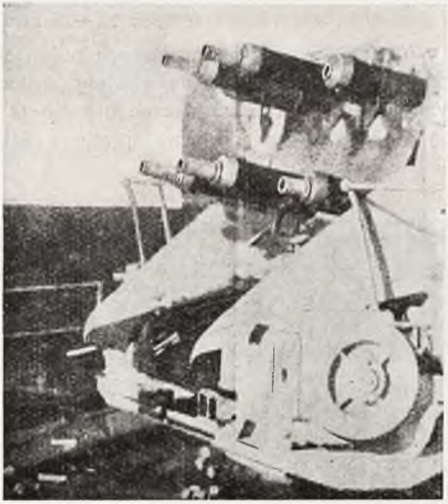
Reasumując powyższe, możemy przyjąć przypuszczalny system uzbrojenia przeciwlotniczego każdej klasy okrętów odpowiadający wymogom doby obecnej. Będzie to dla kontrtorpedowców — artyleria przeciwlotnicza o kalibrze 40 mm i artyleria okrętowa 100—120 mm przystosowana do strzelań przeciwlotniczych. Dla krążowników—40 mm art. plotn. i artyleria przeciwtorpedowa o kalibrze 120 — 130 mm na podstawach przeciwlotniczych. Zaznaczyć jednak należy, że z racji stanowisk i obsługi działek małokalibrowych—najwygodniejszą rzeczą będzie stosowanie podstaw dla 2 lub 3 działek razem.

Śledząc uważnie za artylerią przeciwlotniczą nowobudujących się lub modernizowanych okrętów flot wojennych, stwierdzić możemy praktyczne zastosowanie wyżej wymienionych wniosków. I tak: francuski krążownik „Algerie" wybudowany w 1932 r. posiada na swym uzbrojeniu: VIII — 203 mm — główny kaliber; XII—100 mm—przeciwtorpedowa artyleria, przystosowana do strzelania przeciwlotniczego; XVI — 30 mm artyleria przeciwlotnicza.

Francuskie krążowniki „Volbra" i „Mogador", znajdujące się w stadium

przebudowy, posiadają następujące uzbrojenie: VI — 138 mm główny kaliber, przystosowany do strzelania przeciwlotniczego; IV — 37 mm — artyleria przeciwlotnicza.

Ciężkie krążowniki St. Zjedn. Am. Półn. typu „San Francisco" wybudowane w 1933 r. posiadają arlylerię: IX — 203 mm — główny kaliber. VII — 127 mm — przeciwtorpedowa i przeciwlotnicza, II—47 mm pomocnicza i 8 dział plotn. „lekkich" Wszystkie nowobudujące się kontrtorpedowce amerykańskie będą posiadały na uzbrojeniu: V—127 mm—główny kaliber, przystosowany do strzelania przeciwlotniczego, 4 działa przeciwlotnicze specjalne i 8 karabinów maszynowych.



Japońskie krążowniki typu „Chokai", budowane w 1931 r. posiadają na uzbrojeniu: X—203 mm—główny kaliber; VIII — 120 mm przeciwtorpedowa i przeciwlotnicza artyleria; 4 karabiny maszynowe.

Błędne byłoby mniemanie, że wszystkie floty stanęły na tym punkcie widzenia co do środków artylerii przeciwlotniczej okrętów. Lecz jednak ten właściwie punkt wiedzenia coraz bardziej i bardziej przyciąga uwagę specjalistów przy projektowaniu i budowie nowych okrętów i można przypuszczać, że w końcu zajmie jednak dominujące stanowisko. Rysunki: sprzężone k. m. i zespół armatek.

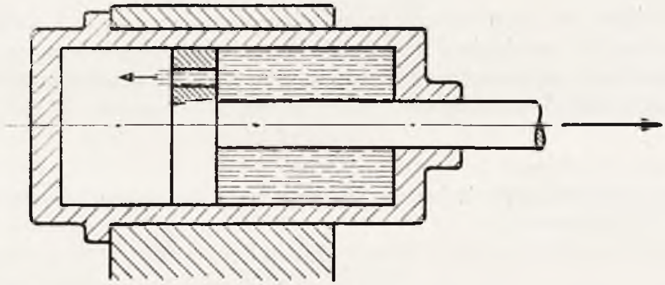
T. J.

SPRAWOZDANIA I RECENZJE

Obliczenie oporopowrotników — inż. P. Füsgen.

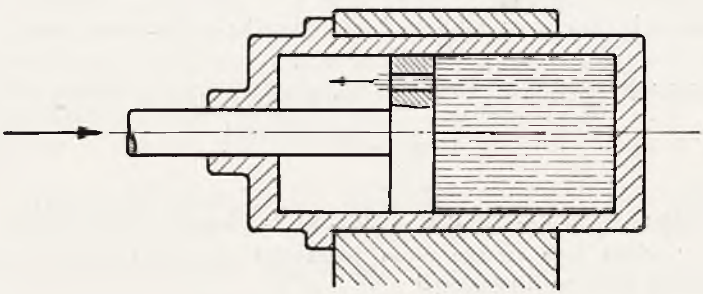
[*Wehrtechnische Monatshefte* — Sonderheft Nr 2/36 r.]

Praca inż. Füsgena jest pierwszą nowoczesną teorią oporopowrotników w języku niemieckim od czasów Rausenbergera (1907 r.). Szczegółowa analiza możliwych wypadków, na jakie można trafić przy obliczaniu tego tak ważnego organu współczesnego działa, jest cennym wkładem w dość skromną dotychczas literaturę, trak-



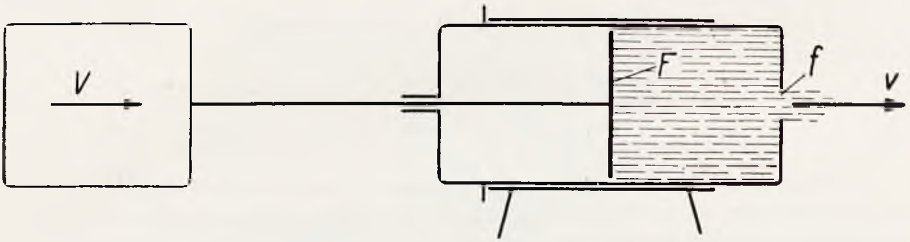
Rys. 1.

tującą zagadnienie obliczeń oporopowrotników artyleryjskich. Praca niniejsza ułatwia konstruktorom wybór odpowiedniego przebiegu zmiany całkowitego wysiłku oporopowrotnika w tym lub innym wypadku budowy tegoż. Podajemy poniżej obszerne streszczenie omawianej pracy za zezwoleniem autora.



Rys. 2.

Na wstępie autor podaje ogólną zasadę urządzenia opornika hydraulicznego, która jak wiadomo (*rys. 1 i 2*) polega na przeciskaniu pod ciśnieniem cieczy zawartej w cylindrze opornika przez otwór przelewowy w tłoku lub też przez wyżłobienia na wewnętrznej powierzchni cylindra i wytwarzaniu przez to oporu, który hamuje odrzut zespołu odrzutowego, połączonego bądź z ruchomym tłokiem przy nieruchomym cylindrze opornika, bądź też z ruchomym cylindrem przy nieruchomym tłoku opornika — i następnie wyprowadza zasadnicze równania na obliczenie wysiłku opornika i przekroju otworów przelewowych.



Rys. 3.

Zakładając, że płyn zawarty w cylindrze opornika (*rys. 3*) i ściśnięty przez tłok o powierzchni przekroju F połączony z zespołem hamowanym, poruszającym się z szybkością V, przepływa gwałtownie przez otwór przelewowy w tłoku o powierzchni przekroju f z szybkością

$$v = V \frac{F}{f} \qquad (1)\,[1]$$

i biorąc pod uwagę, że nieskończenie mała masa dm cieczy przeciskanej przez ten otwór w ciągu czasu dt

$$dm = \frac{f.v\,.\,dt\,.\,\gamma}{g} \qquad (2)$$

gdzie g jest przyspieszenie ziemskie w m/sec^2 i γ — ciężar właściwy płynu w kg/dm^3, — dochodzi do równań zasadniczych na obliczenie wysiłku opornika hydraulicznego i przekroju otworów przelewowych drogą następujących rozważań:

Ponieważ kinetyczna energia dW cieczy zużyta przez czas dt jest

$$dW = \frac{dm\,(v^2 - V^2)}{2} \qquad (3)$$

a praca dA wykonana przez wysiłek B tego opornika w tym czasie jest

$$dA = B\,V\,dt \qquad (4)$$

to uwzględniając równania (1) i (2) oraz biorąc pod uwagę, że

$$B\cdot V\,.\,dt = \frac{dm\,(v^2 - V^2)}{2}$$

[1]) Objętość płynu przeciśnięta w ciągu bardzo małego czasu Δt, a więc $V.\,F.\,\Delta t$ powinna w ciągu tego samego czasu przedostać się przez otwór przelewowy z jednej strony tłoka na drugą, czyli

$$V F\,.\,\Delta t = v\,f\,.\,\Delta\,t.$$

mamy

$$B = \frac{F\,(F^2 - f^2)\,\gamma\,V^2}{2g\,f^2},$$

co ze względów na bardzo małą wielkość f^2 w porównaniu z F^2 upraszczamy do wzoru

$$B = \frac{F^3\,\gamma\,V^2}{2g\,f^2} \tag{5}$$

Stąd też otrzymujemy wzór na powierzchnię przekroju otworu przelewowego

$$f = \sqrt{\frac{F^3\,\gamma\,V^2}{2g\,B}} \tag{6}$$

Następnie wprowadzając do równania (5) i (6) współczynnik $\zeta < 1$ dławienia strugi, którego, jak wiadomo z hydrauliki, nie możemy w tym wypadku ominąć, przekształcamy poprzednie wzory we wzór na obliczenie wysiłku B opornika hydraulicznego w postaci:

$$B = \frac{F^3\,\gamma\,V^2}{2g\,f^2\,\zeta} \tag{7}$$

i na obliczenie powierzchni przekroju otworu przelewowego w postaci

$$f = \sqrt{\frac{F^3\,\gamma\,V^2}{2g\,B\,\zeta}} \tag{8}$$

gdzie ζ dla obecnie stosowanych w opornikach kształtów otworów przelewowych można przyjąć w granicach od 0,60 do 0,65 i dla płynu składającego się z 60 cz. gliceryny i 40 cz. wody — $\gamma = 1{,}15$ kg/dm^3. [1])

Ciśnienie jednostkowe p [$= B/F$] w opornikach działowych nie powinno zasadniczo przekraczać 200 atm., w wyjątkowych wypadkach przyjąć można nie wyższe od 300 atm.

Stosując przy obliczeniach kg, m, s — należy ciężar właściwy wyżej wymienionego płynu przyjąć $\gamma = 1150$ kg/m^3.

Z równania (8) wynika, że odpowiedni dla danej chwili hamowania przekrój otworu przelewowego przy danych wielkościach F, γ i ζ zależy od szybkości V w tej chwili hamowania i żądanej w tym wypadku wielkości (stałej lub zmiennej) wysiłku B opornika. Dążąc możliwie do uzyskania stałego wysiłku opornika, można budować opornik o zmiennym przekroju otworów przelewowych przez zastosowanie bądź wyżłobień na wewnętrznej ściance cylindra o odpowiedniej i zmiennej głębokości ich zależnie od szybkości V w danej chwili hamowania i żądanego wysiłku opornika, bądź też — tłoka z pierścieniem obrotowym, przymykającym odpowiednio otwory przelewowe, bądź wreszcie przez zastosowanie tzw. wrzeciona lub listwy odpowiednio regulujących przekrój otworu przelewowego lub też budować opornik o stałym przekroju otworów, stosując do nich zawory obciążone.

Szybkość V ruchomej masy w dowolnej chwili jej ruchu zależy od sił, jakie

---

[1]) Ściślej biorąc: dla otworów o krawędziach ostrych

$$\zeta = 0{,}65$$

i dla otworów o krawędziach zaokrąglonych;

$$\zeta = 0{,}90$$

dla oleonafty „F_2 — 75" $\gamma = 0{,}9$ kg/dm^3.

działały na nią do tej chwili. W wypadku np. działa o łożu sprężystym z odrzutem lufy wzdłuż jej osi będą to siły przyspieszające ruch masy odrzutowej jako to: siła gazów prochowych i składowa ciężaru zespołu odrzutowego (przy kątach podniesienia lufy $\alpha > 0^0$) i siły opóźniające jej ruch jako to: wysiłek opornika, wysiłek powrotnika, tarcie w wodzidłach kołyski i wreszcie w razie $\alpha < 0^0$ — ujemna składowa ciężaru zespołu odrzutowego.

Przebieg zmiany siły hamowania w zależności od jej drogi (lub czasu) działania i odpowiednia przy tym zmiana przekroju otworów przelewowych mogą być ustalone stosownie do wymagań; stawianych w tym lub innym wypadku hamowania, uwzględniając, że praca sił przyspieszających ruch danej masy powinna być równa pracy sił opóźniających jej ruch; inaczej mówiąc, algebraiczna suma prac sił działających na nią powinna być równa zeru, albowiem rozpoczyna ona i kończy swój ruch z szybkością równą zeru. W razie działania chwilowych sił (uderzeń), algebraiczna suma impulsów tych sił powinna też być równa zeru. Jeżeli w wypadku działa o łożu sprężystym z odrzutem lufy wzdłuż jej osi wysiłek opornika będzie obliczony tak, że przy końcu odrzutu praca sił opóźniających będzie mniejsza od pracy sił przyspieszających, to pozostałą przy tym kinetyczną energię masy odrzutowej przyjmie na siebie łoże, którego stateczność wówczas będzie zachwiana.

Podane uwagi dotyczą zarówno hamowania przy istnieniu, jak też po ustaniu działania chwilowej siły przyspieszającej.

Niech na określoną masę $\frac{G}{g}$ działa określona siła chwilowa (uderzenie); impuls tej siły

$$S = \frac{G}{g} V \tag{9}$$

a praca wykonana przez tę ruchomą masę

$$A = \frac{G V^2}{2g}$$

Czyli po uwzględnieniu równania (9)

$$A = \frac{g S^2}{2G} \tag{10}$$

Będzie to praca, jaką należy pochłonąć przy hamowaniu, w wypadku gdy siła hamująca bierze udział po ustaniu działania siły chwilowej; o ile siła hamująca przyjmie udział w hamowaniu przy istnieniu działania siły chwilowej, to ta praca hamowania będzie mniejszą od pracy w wypadku uprzednim.

Niech siła hamująca Q o wielkości stałej w okresie t_0 bierze udział w hamowaniu danej ruchomej masy przy istnieniu stałej siły P przyspieszającej jej ruch; wówczas wg znanych twierdzeń mechaniki droga w czasie t_0 hamowania będzie:

$$x_0 = \frac{g (P - Q) t_0^2}{2G} \tag{11}$$

a praca siły hamowania wykonana na tej drodze

$$A_0 = Q x_0$$

czyli po uwzględnieniu równania (11)

$$A_0 = \frac{g (P - Q) Q t_0^2}{2G} \tag{12}$$

W czasie t_0 szybkość ruchu zmniejszy się do wielkości

$$V_0 = \frac{g\,(P - Q)\,t_0}{G} \tag{13}$$

Praca potrzebna do zahamowania tej szybkości

$$A_1 = \frac{G\,V_0^2}{2g}$$

a po uwzględnieniu równania (13)

$$A_1 = \frac{g\,(P - Q)^2\,t_0^2}{2G} \tag{14}$$

A więc całkowita praca hamowania będzie równa:

$$A = A_0 + A_1$$

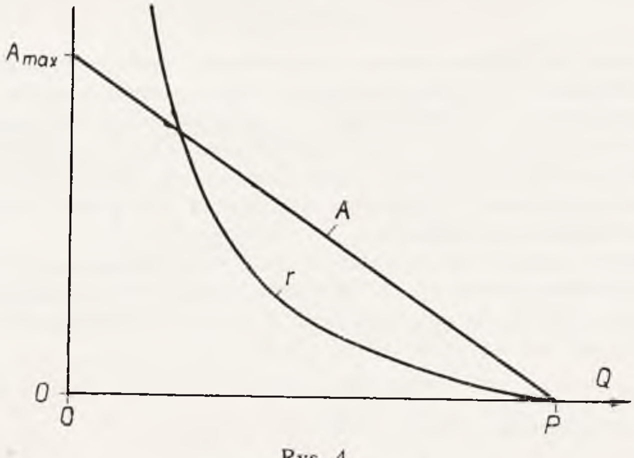
czyli po uwzględnieniu równań (12) i (14)

$$A = \frac{g\,P\,(P - Q)\,t_0^2}{2G} \tag{15}$$

Skąd wynika, że praca hamowania w tym wypadku będzie tym mniejsza, im większa jest siła hamowania Q; dla $Q = P$ praca hamowania równa się zeru, a dla $Q = 0$ osiąga swe maksimum.

$$A_{max} = \frac{g\,P^2\,t_0^2}{2G} \tag{16}$$

Skąd, ponieważ $P\,t_0 = S$, dochodzimy do równania (10) i w rzeczy samej dla $Q = 0$ otrzymamy nieskończenie długą drogę hamowania.



Rys. 4.

Z równania (15) wynika, że praca A hamowania w zależności od wielkości siły hamowania zmienia się wg linii prostej uwidocznionej na wykresie *rys. 4.* Rysunek ten zawiera również wykres drogi hamowania

$$r = \frac{A}{Q}$$

którą, uwzględniając równania (15) i (17) określamy ze wzoru

$$r = A_{max}\left(\frac{1}{Q} - \frac{1}{P}\right) \tag{17}$$

A więc rys. 4 wskazuje wpływ, jaki wywierają droga i siła hamowania na pracę hamowania.

Po tych wstępnych wiadomościach autor podaje obliczenie opornika hydraulicznego w ogólnym wypadku, rozpatruje bardzo szczegółowo wpływ poszczególnych przebiegów zmiany wysiłku opornika na przekrój otworów przelewowych i odwrotnie, wyprowadza wzory na obliczenie czasu hamowania i wreszcie przytacza obliczenie opornika hydraulicznego działa o łożu sprężystym z odrzutem lufy wzdłuż jej osi.

Obliczenie opornika hydraulicznego w ogólnym wypadku.

W tym wypadku autor przyjmuje, że w hamowaniu ruchu danego zespołu o ciężarze G obok wysiłku B opornika hydraulicznego biorą udział też dodatkowe siły hamujące, jak tarcie i wysiłek powrotnika sprężynowego, których wypadkową oznacza przez R. Przy hamowaniu masy ruchomej w jej ruchu po pochyłej drodze dochodzi do tych sił, zależnie od kąta i kierunku jej pochylenia, składowa ciężaru masy ruchomej przyśpieszająca lub opóźniająca jej ruch.

Wypadkowa z wysiłku opornika hydraulicznego, tarcia i wysiłku powrotnika, która w wypadku działa o łożu sprężystym z odrzutem lufy wzdłuż jej osi jest siłą działającą na łoże (reakcja odrzutu), oznaczona jest przez Q.

$$Q = B + R \tag{18}$$

Całkowita praca tego wysiłku równa się alebraicznej sumie z prac sił B i R dążących wprowadzić w ruch łoże i składowej ciężaru zespołu odrzutowego.

Należy zaznaczyć, że wykres uzyskany przy badaniu działa za pomocą przyrządu rejestrującego odrzut jego zespołu odrzutowego będzie zawierał pole, czyli pracę wysiłku opornika, zwiększone o pole czyli pracę siły tarcia i wysiłku powrotnika, w której będzie uwzględniona też dodatnia lub ujemna praca składowej siły ciężaru zespołu odrzutowego.

Oznaczając przez K siłę opóźniającą ruch masy odrzutowej, będziemy mieli przy kącie podniesienia lufy $\alpha > 0$ (składowa ciężaru $G \sin \alpha$ przyspiesza ruch), $K < Q$; przy $\alpha < 0$ ($G \sin \alpha$ opóźnia ruch) $K > Q$ i wreszcie przy $\alpha = 0$, $K = Q$.

Niech w danym wypadku będzie $\alpha > 0$, a więc

$$K = Q - G \sin \alpha \tag{19}$$

a po uwzględnieniu równania (18)

$$K = B + R - G \sin \alpha.$$

Praca tej siły na drodze hamowania powinna pochłonąć kinetyczną energię, jaką posiada ruchoma masa na początku jej hamowania.

Przy szybkości V_0 ruchu na początku hamowania i ciężaru G masy ruchomej kinetyczna energia tej masy jest

$$W_0 = \frac{G V_0^2}{2g} \tag{21}$$

Po przejściu drogi x energia ta spada do wielkości

$$W = W_0 - A$$

czyli

$$W = \frac{G V_0^2}{2g} - A,$$

gdzie A jest praca wykonana na tej drodze przez opóźniającą ruch siłę K.

Ponieważ dla szybkości V w dowolnej chwili hamowania

$$W = \frac{G\ V^2}{2g},$$

to z dwóch ostatnich równań otrzymamy

$$V^2 = V_0^2 - \frac{2g}{G} A \tag{22}$$

Podstawiając tę wartość V^2 w równanie (8) mamy

$$f = \sqrt{\frac{F^3 \gamma}{B\ G\ \zeta} \left[\frac{G\ V_0^2}{2g} - A \right]} \tag{23}$$

a biorąc pod uwagę, że

$$A = \int_0^x K\ d\ x,$$

przekształcamy uprzednie równanie w równanie:

$$f = \sqrt{\frac{F^3\ \gamma}{B\ G\ \zeta} \left[\frac{G\ V_0^2}{2g} - \int_0^x K\ d\ x \right]}$$

Skąd, ponieważ z równań (18) i (19)

$$B = K - R + G \sin \alpha,$$

mamy *zasadniczy wzór* na *obliczenie przekroju otworów przelewowych* w dowolnej chwili hamowania

$$f = \sqrt{\frac{F^3 \gamma}{G\ \zeta\ [K - R + G \sin \alpha]} \left[\frac{G\ V_0^2}{2g}\ \int_0^x K\ d\ x \right]} \tag{24}$$

Na wykresach rys. 5 autor podaje wyniki obliczenia opornika hydraulicznego dla następujących danych:

$$G = 141 \text{ kg} \qquad V_0 = 7{,}84 \text{ m/s.}$$

Kinetyczna energia masy ruchomej na jej początku ruchu

$$W_0 = \frac{141\ .\ 7{,}84^2}{2{,}981} = 441{,}7 \text{ kgm}$$

jest to również ilość pracy, jaką musi wykonać siła opóźniająca jej ruch na danej drodze hamowania $r = 0{,}45$ m.

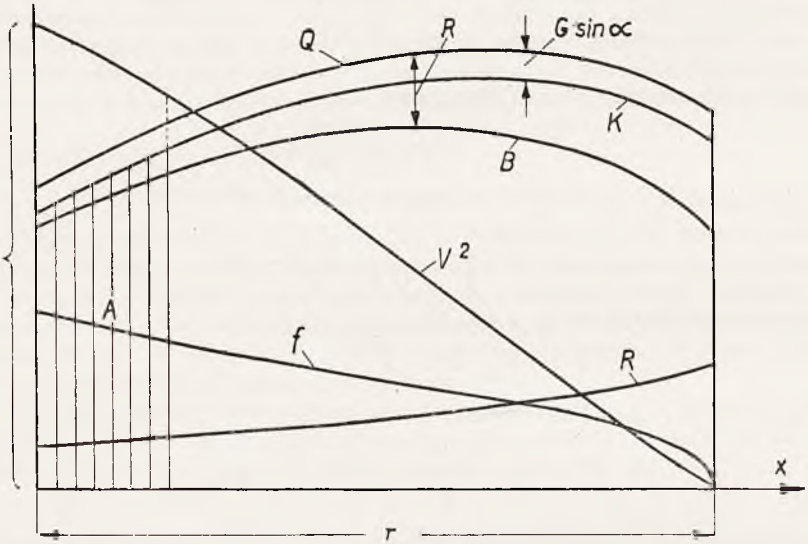
Przy kącie podniesienia $\alpha = 30^0$ praca wykonana przez ciężar opadającego w dół zespołu na tej drodze:

$$G \sin \alpha\ .\ r = 141\ .\ 0{,}5\ .\ 0.45 = 31{,}7 \text{ kgm}$$

Skąd całkowita praca hamowania (siły Q)

$$441{,}7 + 31{,}7 = 473{,}4 \text{ kgm}$$

Dobierając odpowiednio przebieg krzywej Q na rys. 5, tak aby pole jej na tej drodze r w przyjętej skali równało się obliczonej wyżej pracy (w danym przykładzie $473{,}4\ \text{kgm} \cdot 10 \frac{\text{mm}^2}{\text{kgm}} = 4734\ \text{mm}^2$), wykreślając następnie na tym wykresie przebieg siły R i obliczając wielkość $G \sin \alpha = 70{,}5$ kg, łatwo otrzymamy z nich na tym wykresie przebieg zmian opóźniającej siły K i przebieg zmian wysiłku B opornika hydraulicznego.



Rys. 5.

Skala x	(1 : 5 =)	200 mm/m
Q, R, B, K, G sin α	.	0,04 mm/kg
A		10 mm²/kg
V^2		1 mm/(m/s)²
f		250000 mm/m²

Obliczając w dowolnym punkcie tego wykresu pracę A siły K opóźniającej ruch, wykonaną na przebytej drodze i podstawiając do równania (22) otrzymamy V^2 w danym punkcie ruchu i wreszcie znając V^2 i wielkość wysiłku B opornika hydraulicznego, możemy z równania (8) obliczyć przekrój otworów przelewowych w dowolnym punkcie drogi hamowania r, o ile w rzeczy samej, jak w danym wypadku, znamy wielkość

$$\sqrt{\frac{F^3 \gamma}{2g\,\zeta}} = 3{,}12 \cdot 10^{-4}\ \text{kg}^{1/2}\ \text{m s}$$

Przebieg zmiany przekroju otworów przelewowych dla stałej siły hamowania.

W tym wypadku autor przyjmuje, że hamowanie rozpoczyna się po zaprzestaniu działania siły chwilowej przyspieszającej ruch danej masy, na skutek wyłą-

cznie oporu przeciwstawianego ruchowi przez wysiłek opornika hydraulicznego bez udziału tarcia, wysiłku powrotnika i składowej ciężaru zespołu ruchomego. Jest to wypadek, gdy np. działo o łożu sztywnym ustawione na platformie jest połączone z opornikiem hydraulicznym, który hamuje ruch tego działa.

Niech początkowa kinetyczna energia danej masy ruchomej, którą powinna pochłonąć stała siła opóźniająca K na drodze hamowania r, jest W_0, — wówczas

$$K = \frac{W_0}{r},$$

czyli po uwzględnieniu równania (21)

$$K = \frac{G V_0^2}{2 g r} \tag{25}$$

Biorąc pod uwagę, że w tym wypadku $K = B$, mamy zgodnie z równaniem (25)

$$B = \frac{G V_0^2}{2 g r} \tag{26}$$

a poniewkż praca hamowania na dowolnej drodze x

$$A = W_0 \frac{x}{r},$$

czyli po uwzględnieniu równania (21)

$$A = \frac{G V_0^2}{2 g r} x \tag{27}$$

to podstawiając tę wartość do równania (22) otrzymamy

$$V^2 - V_0^2 \frac{r - x}{r} \tag{28}$$

Skąd wnioskujemy, że szybkość ruchu względem drogi hamowania zmienia się wg paraboli, której wierzchołek mieści się przy końcu całkowitej drogi hamowania. Po uwzględnieniu w równaniu (23) równań (26) i (27) mamy

$$f = \sqrt{\frac{F^3 \gamma}{G \zeta}} \sqrt{r - x} \tag{29}$$

A więc przekrój otworów przelewowych zmienia się też wg paraboli, która ma wspólną oś i wierzchołek z parabolą szybkości.

Autor w tym miejscu podkreśla specjalnie, że jak to wynika z równania (29), przekrój otworów przelewowych wcale nie zależy od szybkości początkowej ruchu, a siła hamowąnia, zawsze zależna od szybkości, przybiera wymaganą wielkość automatycznie. Ale ponieważ przekrój otworów przelewowych zależy od wielkości ζ, to przy niedokładnym dobraniu tej wielkości (lub F, lub G) możemy otrzymać *o i* razy większy lub mniejszy przekrój otworów przelewowych, gdzie $i \lessgtr 1$ jest bliskie do jedności, co znów wpłynie na wielkość i przebieg zmiany siły hamowania.

Aby wyjaśnić wpływ, jaki wywiera ta lub inna wielkość i na przebieg zmiany siły hamowania, autor przyjmuje, że przekrój otworów przelewowych został obliczony wg równania

$$f = i \sqrt{\frac{F^3 \gamma}{G \zeta}} \sqrt{r - x} \tag{30}$$

a pracę powstającej w tym wypadku nieznanej nam siły hamowania B, zmiennej na drodze x, oznacza przez

$$A = \int_0^x B\,d\,x$$

Wówczas pozostała po przejściu drogi x energia kinetyczna masy ruchomej

$$W = W_0 - \int_0^x B\,d\,x$$

Skąd biorąc pod uwagę, że

$$W = \frac{G\,V^2}{2g}$$

mamy

$$V = \sqrt{\frac{2g}{G}\left(W_0 - \int_0^x B\,d\,x\right)} \tag{31}$$

Podstawiając f i V z równań (30) i (31) w równanie (7) otrzymamy

$$B = \frac{W_0 - \int_0 B\,d\,x}{i^2\,(r - x)}$$

lub

$$i_2\,(r - x)\;B = W_0 - \int_0^x B\,d\,x$$

Po zróżniczkowaniu go i oddzieleniu od siebie zmiennych B i x mamy

$$\frac{d\,B}{B} + \frac{1 - i^2}{i^2} \cdot \frac{d\,x}{r - x} = 0$$

Całkując otrzymamy

$$ln\;B = \frac{1 - i^2}{i_2}\;ln\;(r - x) + C$$

czyli

$$B = C_1\,(r - x)^{\frac{1 - i^2}{i^2}} \tag{32}$$

Stałą C_1 określimy z tego równania dla $x = 0$, skąd

$$B_0 = C_1\;r^{\frac{1 - i^2}{i^2}} \tag{33}$$

gdzie B_0 początkowa siła hamowania.

Początkowy przekrój otworów przelewowych f_0 otrzymamy z równania (30) dla $x = 0$

$$f_0 = i\sqrt{\frac{F^3\,\gamma\,r}{G\,\zeta}}$$

Podstawiając tę wartośc f_0 w równanie (7) dla $V - V_0$ mamy wzór na początkową siłę hamowania

$$B_0 = \frac{G V_0^2}{2g\, i^2 r} \tag{34}$$

A biorąc pod uwagę równanie (26), z którego wynika, że średnia wielkość siły hamowania

$$B_m = \frac{G V_0^2}{2gr} \tag{35}$$

otrzymamy

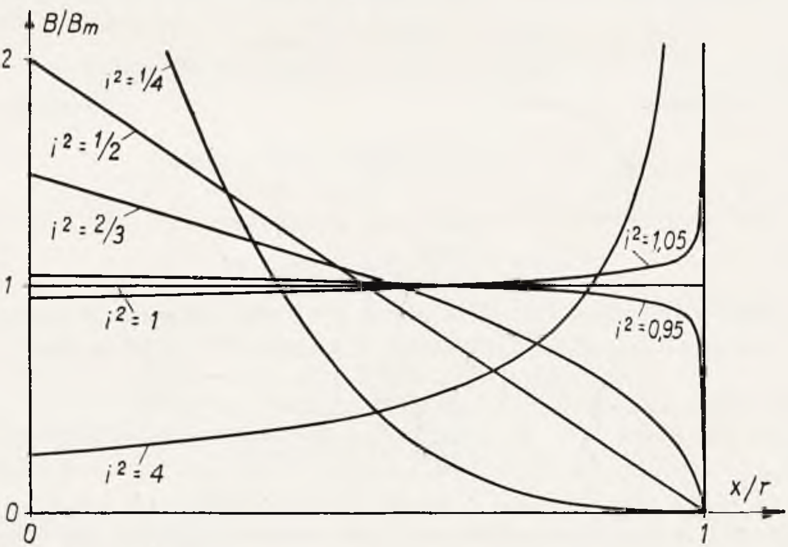
$$B_0 = \frac{B_m}{i^2} \tag{36}$$

Wówczas z równań (33) i (36) mamy wzór na stałą C_1

$$C_1 = {\frac{B_m\, r}{i^2}}^{\frac{-1-i^2}{i^2}}$$

i wreszcie z równania (32) wzór na siłę hamowania w dowolnej chwili jej działania

$$B = {\frac{B_m\, r}{i^3}}^{\frac{1-i^2}{i^2}} (r - x)^{\frac{1-i^2}{i^2}} \tag{37}$$



Rys. 6.

Dla uproszczenia dalszych swych rozważań autor przekształca to równanie w postać

$$\frac{B}{B_m} = \frac{(1 - x/r)^{\frac{1-i^2}{i^2}}}{i^2} \tag{38}$$

Krzywe B/B_m w zależności od x/r uwidocznione na rys. 6 dla poszczególnych wielkości $i \gtreqless 1$ są na ogół parabolami lub hiperbolami.

Z równań i podanych na rys. 6 wykresach wynika, że przy parabolicznym przebiegu zmian i względnie małych otworach przelewowych, a więc dla $i^2 < 1$, siła hamowania na początku hamowania jest większa od średniej wielkości tej siły i następnie opada aż do końca hamowania, natomiast przy względnie dużych otworach a więc $i^2 > 1$, siła hamowania na początku ruchu jest mniejsza od średniej siły hamowania i następnie wznosi się do góry, wzrastając przy zbyt dużych otworach do nieskończoności. Stąd, nie znając ściśle wielkości ζ, korzystniej jest obliczać otwór przelewowy z równania (29) dla nieco większych wielkości ζ, otrzymując w ten sposób nieco mniejsze otwory, które następnie można łatwo wyregulować.

Przebieg zmiany przekroju otworów przelewowych przy prostolinijnym przebiegu zmiany siły hamowania.

Niech siła hamowania B (wysiłek opornika hydraulicznego) zmienia się według linii prostej wznoszącej się do góry. Oznaczając średni wysiłek tej siły na połowie całkowitej drogi r hamowania przez B_m i zakładając pochylenie tej prostej równym c — wysiłek B w dowolnej chwili hamowania określimy z równania

$$B = B_m - c\,(r/2 - x) \tag{39}$$

Praca wykonana przez ten wysiłek na drodze x

$$\frac{G}{2g}\,(V_0^2 - V^2) = \int_0^x B\,dx$$

lub po uwzględnieniu równania (39)

$$\frac{G}{2g}\,(V_0^2 - V^2) = \int_0^x [B_m - c\,(r/2 - x)]\,dx$$

Skąd po scałkowaniu go mamy

$$V^2 = V_0^2 - \frac{2g\,x}{G}\left[B_m - \frac{c}{2}\,(r - x)\right] \tag{40}$$

Podstawiając wartości B i V^2 z równań (39) i (40) w równanie (8) otrzymamy

$$f = \sqrt{\frac{F^3\gamma\left\{V_0^2 - \frac{2g\,x}{G}\left[B_m\,\frac{c}{2}\,(r - x)\right]\right\}}{2g\left[B_m - x\left(\frac{r}{2} - x\right)\right]\zeta}} \tag{41}$$

Oznaczając następnie przez f_a początkowy przekrój otworów przelewowych, dla którego przy parabolicznym przebiegu jego zmiany osiągniemy stały wysiłek B ($= B_m$), z równania (7) dla $B = B_m$, $V = V_0$ i $f = f_a$ otrzymamy

$$B_m = \frac{F^3\gamma\,V_0^2}{2g\,f_a^2\zeta} \tag{42}$$

a po podstawieniu do niego B_m z równania (35)

$$\frac{F^3\gamma\,r}{G\,\zeta} = f_a^3 \tag{43}$$

Uwzględniając tę wartość f_a w równaniu (41) mamy

$$f = f_a \sqrt{\frac{G \left\{ V_0^2 - \frac{2g\,x}{G} \left[B_m - \frac{c}{2} (r - x) \right] \right\}}{2g\,r\,[B_m - c\,(r/2 - x)]}}$$

Skąd po podstawieniu do niego wartości $G V_0^2$ z równania (35) otrzymamy *wzór na obliczenie przekroju otworów przelewowych* w dowolnej chwili hamowania:

$$f = f_a \sqrt{\frac{(2\,B_m + cx)\;(r - x)}{r\,[2\,B_m - c\,(r - 2x)]}} \qquad (44)$$

Przy przebiegu zmiany siły hamowania według linii prostej opadającej w dół należy odwrócić znak przy c.

W wypadku gdy siła hamowania wzrasta od zera, a więc dla

$$c = \frac{2\,B_m}{r} \text{ z równania (44)}$$

mamy

$$f = f_a \sqrt{\frac{r^2 - x^2}{2rx}} \qquad (45)$$

Skąd wynika, że na początku hamowania, czyli dla $x = 0$, przekrój otworów przelewowych powinien być nieskończenie wielkim, co praktycznie nie jest do wykonania.

Przy opadaniu siły hamowania do zera, a więc dla $c = -\frac{2\,B_m}{r}$ z równania (44) otrzymamy

$$f = f_a \sqrt{\frac{r - x}{2r}} \qquad (46)$$

a dla $c = 0$, czyli stałej wartości siły hamowania

$$f - f_a \sqrt{\frac{r - x}{r}} \qquad (47)$$

Podstawiając w to równanie f_a z równania (43) otrzymamy znane nam równanie (29).

Z równań (46) i (47) wynika, że stosunek przekroju otworów przelewowych przy przebiegu zmiany siły hamowania opadającej wg linii prostej do zera, do przekroju przy stałej sile hamowania równa się $1/\sqrt{2}$, co jest zgodne z otrzymanym uprzednio wykresem na rys. 6 dla $i^2 = 1/2$ czyli $i = \frac{1}{\sqrt{2}}$.

Przebieg zmiany przekroju otworów przelewowych przy istnieniu tarcia lub innej dodatkowej siły hamującej niezależnej od szybkości.

O ile oprócz wysiłku B opornika w hamowaniu danej masy ruchomej przyjmuje udział też tarcie lub inna dodatkowa siła hamująca niezależna od szybkości,

którą oznaczymy przez R, a wypadkową z tych sił $(B+R)$ — przez Q, to w wypadku stałych wartości B i R, gdy

$$A = Q x \quad \text{i} \quad \frac{G V_0^2}{2g} = Q r$$

Z równania (23) mamy

$$f = \sqrt{\frac{F^3 \gamma Q}{G \zeta B}} \sqrt{r - x} \qquad (48)$$

a więc w tym wypadku otwór przelewowy powinien być około $\sqrt{\frac{Q}{B}}$ razy większy od otworu przy stałym wysiłku B bez tarcia.

Przy $Q = R$, a więc $B = 0$, a stąd f dążącym do nieskończoności—mamy wypadek, gdy dla hamowania masy ruchomej stosujemy wyłącznie specjalny opornik tarcia.

Przy względnie małym tarciu w porównianiu z wysiłkiem opornika hydraulicznego można to tarcie uwzględnić przez zamianę w równaniu (29) współczynnika dławienia strugi ζ na określony z równań (29) i (48) współczynnik

$$\zeta_0 = \frac{B}{Q} \zeta$$

W rzeczy samej przy udziale w hamowaniu siły tarcia nie ma mowy o niezależności otworów przelewowych od szybkości ruchu, a stąd też o niezależności ich od oporu przeciwstawianego ruchowi, albowien otwór przelewowy w tym wypadku powinien być tym większy, im większe jest tarcie.

W wypadku gdy masa, którą hamujemy, porusza się po pochylni tworzącej kąt α z płaszczyzną poziomą, a więc np. przy dziale o łożu sprężystym z odrzutem lufy wzdłuż jej osi przy kącie α jej podniesienia, musimy uwzględnić też powstającą przy tym składową masy ruchomej $G \sin \alpha$ i wówczas w równaniu (48) zastąpić opór przeciwstawiony ruchowi Q przez siłę opóźniającą ruch.

$$K = Q - G \sin \alpha, \text{ wówczas}$$

$$f = \sqrt{\frac{F^3 \gamma}{G \zeta} \cdot \frac{Q - G \sin \alpha}{B}} \sqrt{r - x} \qquad (49)$$

Wynika stąd, że otwory przelewowe w tym wypadku muszą być mniejsze od otworów wymaganych przy kącie podniesienia $\alpha = 0$; jest to też jedna z przyczyn, dla których w budowie opornika hydraulicznego jest korzystniej nadać otworom przelewowym nieco mniejszą wielkość od tej, jaka wypada z obliczeń i w ten sposób uniknąć wzrostu wysiłku opornika do nieskończoności.

Nie uwzględniając na razie wpływu składowej ciężaru masy ruchomej na przebieg zmiany wysiłku opornika, autor w dalszym ciągu swych rozważań rozpatruje wyłącznie wpływ stałej dodatkowej siły hamującej R na przebieg zmiany wysiłku opornika hydraulicznego, określonego dla otworów przelewowych, obliczonych wg równania (29).

W tym wypadku z równania (7) po podstawieniu do niego wartości f z równania (29) mamy

$$B = \frac{G V^2}{2g (r - x)} \qquad (50)$$

a ponieważ opóźniająca siła

$$K = B + R,$$

to po uwzględnieniu równania (50) otrzymamy

$$K = \frac{G\ V^2}{2g\ (r - x)} + R \tag{51}$$

Biorąc pod uwagę, że, jak to wiadomo z dynamiki,

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{Kg}{G}$$

i ponieważ

$$\frac{dx}{dt} = V,$$

to

$$\frac{dV}{dx} = -\frac{Kg}{GV} \tag{52}$$

skąd podstawiając w to równanie wartość K z równania (51) otrzymamy

$$\frac{dV}{dx} + \frac{1}{2}\frac{V}{r-x} + \frac{Rg}{G}\frac{1}{V} = 0 \tag{53}$$

Po rozwiązaniu tego równania różniczkowego względem V^2 mamy

$$V^2 = V_0^2\ \frac{r-x}{r} - \frac{2\ R\ G}{G}(r-x)\ ln\ \frac{r}{r-x} \tag{54}$$

O ścisłości tego rozwiązania możemy przekonać się różniczkując równanie (54), skąd otrzymamy równanie (53), a ponadto w równaniu (54) dla $x = 0$ zostaje zachowany konieczny warunek $V = V_0$

Podstawiając w równanie (50) wartość V^2 z równania (54) mamy

$$B = \frac{G\ V_0^2}{2\ g\ r} - R\ \ ln \frac{r}{r-x} \tag{55}$$

Po przyrównaniu prawej części równania (54) do zera dla $x = x_e$ otrzymamy całkowitą drogę hamowania

$$x_e = r\ (1 - e^{-\frac{G\ V_0^2}{2\ g\ R\ r}}) \tag{56}$$

krótszą od r; w miarę zanikania tarcia x_e dąży do r.

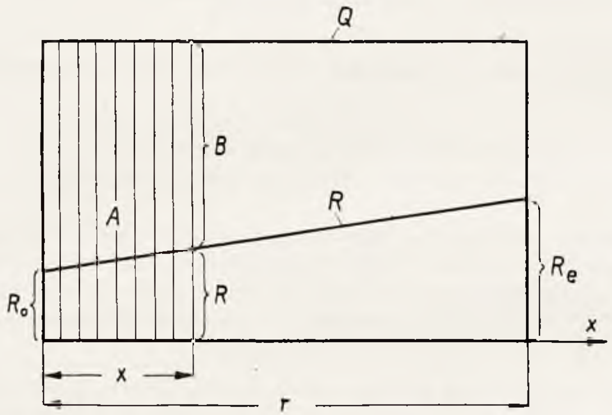
W obliczeniu wysiłku opornika hydraulicznego musimy przewidzieć też wypadek ruchu masy hamowanej po pochylni, tworzącej np. kąt $\alpha > 0$ z płaszczyzną poziomą, albowiem w przeciwnym wypadku, jak to wynika z równania (55), przy podstawieniu do niego składowej ciężaru masy ruchomej zamiast siły R, gdy

$$B = \frac{G\ V_0^2}{2g\,r} + G\ \sin\ \alpha\ \ ln\ \frac{r}{r-x} \tag{57}$$

dla $x = r$ otrzymamy $B = \infty$; przy wznoszeniu się masy ruchomej na pochylnię, a więc przy $\alpha < 0$,

$$x_e = r\left(1 - e^{\frac{V_0^2}{2g\,r\,\sin\,\alpha}}\right) \tag{58}$$

Niech następnie dodatkowa siła hamująca R (wypadkowa z sił tarcia i wysiłku powrotnika sprężynowego) zmienia się według linii prostej wznoszącej się do góry (lub opadającej w dół), a opór przeciwstawiony ruchowi Q jest stały (rys. 7), wówczas praca w równaniu (23)



Rys. 7.

$$A = Q\,x$$

czyli dla

$$Q = \frac{G\,V_0^2}{2g\,r}$$

$$A = \frac{G\,V_0^2}{2g\,r}\,x \tag{59}$$

Wysiłek opornika hydraulicznego

$$B = Q - R = \frac{G\,V_0^2}{2g\,r} - R$$

czyli dla

$$R = R_0 + \frac{R_e - R_0}{r}\,x$$

gdzie R_0 jest to wielkość siły R na początku hamowania, a R_e — jej wielkość przy końcu hamowania

$$B = \frac{G\,V_0^2}{2g\,r} - R_0 - \frac{R_e - R_0}{r}\,x \tag{60}$$

Podstawiając wartości A i B z równań (59) i 60) w równanie (23) otrzymamy

$$f = \sqrt{\frac{F^3\,\gamma\,V_0^2}{2g\,r\,\zeta}\;\frac{r - x}{\frac{G\,V_0^2}{2g\,r} - R_0 - \frac{R_e - R_0}{r}\,x}} \tag{62}$$

Przy stałej wartości hamującej siły tarcia, R a więc dla $R_0 = R_e = R$; $B = Q - R$ i $Q = \frac{G V_0^2}{2 g r}$ równanie (61) sprowadza się do równania (48).

Przebieg zmiany wysiłku opornika hydraulicznego przy danym dowolnym przebiegu zmiany przekroju otworów przelewowych.

Przyjmując, że w hamowaniu danej masy ruchomej przyjmuje udział wyłącznie wysiłek opornika hydraulicznego, a więc siła opóźniająca $K = B$, — z równania (52) po uwzględnieniu w nim wartości B z równania (7) i oddzielenia od siebie zmiennych V i x otrzymamy

$$\frac{dV}{V} = - \frac{F^3 \gamma}{2G\zeta} \frac{dx}{f^2} \tag{62}$$

Po scałkowaniu go mamy

$$V = V_0 e^{- \frac{F^3 \gamma}{2G\zeta} \int_0^x \frac{dx}{f^2}} \tag{63}$$

a stąd

$$V^2 = V_0^2 e^{- \frac{F^3 \gamma}{G\zeta} \int_0^x \frac{dx}{f^2}} \tag{64}$$

Podstawiając tę wartość V^2 do równania (7) otrzymamy

$$B = \frac{F^3 \gamma V_0^2}{2 g f^2 \zeta} e^{- \frac{F^3 \gamma}{G\zeta} \int_0^x \frac{dx}{f^2}} \tag{65}$$

Niech poza tym f_a jest początkowym przekrojem otworów przelewowych dla pewnej stałej wartości oporu przeciwstawianego ruchowi, wówczas z równań (43) i (62) mamy

$$\frac{dV}{V} = - \frac{1}{2 [f/f_a]^2} d [x/r]$$

Po scałowaniu go otrzymamy

$$ln\ V \Big|_{V_0}^{V} = - \frac{1}{2} \int_{x/r=0}^{x/r} \frac{d[x/r]}{[f/f_a]^2}$$

czyli

$$\frac{V}{V_0} = e^{- \frac{1}{2} \int_{x/r=0}^{x/r} \frac{d[x/r]}{[f/f_a]^2}} \tag{66}$$

Dzieląc równanie (7) przez równanie (42) i podstawiając tu wartość $\frac{V}{V_0}$ z równania (66) mamy

$$\frac{B}{B_m} = \frac{e^{-\int_{x/r=0}^{x/r} \frac{d\,[x/r]}{[f/f_a]^2}}}{[f/f_a]^2} \tag{67}$$

Całkę w tym równaniu obliczymy budując krzywą $1/[f/f_a]^2$ w zależności od x/r i mierząc jej pole od 0 do x/r.

Przy parabolicznym (dowolnym) przebiegu zmiany przekroju otworów przelewowych, a więc gdy

$$[f/f_a]^2 = i^2\,(1 - x/r)$$

równanie (67) sprowadza się do równania (38).

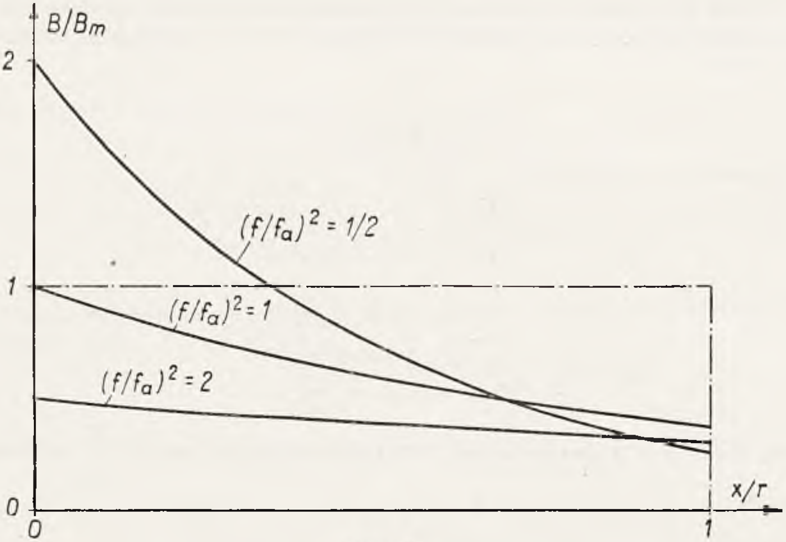
Po tych ogólnych uwagach rozpatrzymy przebieg zmiany wysiłku opornika hydraulicznego przy stałym przekroju otworów przelewowych i przekrojach zmieniających się wg linii prostej.

a) Stały przekrój otworów przelewowych.

Dla stałej wartości f, a stąd też stałej wartości $\left(\frac{f}{f_a}\right)^2$ równanie (67) przekształca się w równanie

$$\frac{B}{B_m} = \frac{1}{[f/f_a]^2}\, e^{-\frac{x/r}{(f/f_a)^2}} \tag{68}$$

Na rys. 8 autor podaje wykresy dla B/B_m w funkcji x/r dla poszczególnych wartości $\left(\frac{f}{f_a}\right)^2$.



Rys. 8.

Z równania (66) dla f/f_a = const. mamy

$$\frac{V}{V_0} = e^{-\frac{1}{2}\frac{x/r}{(f/f_a)^2}} \tag{69}$$

Skąd wnioskujemy, że kinetyczna energia masy ruchomej będzie pochłonięta przez pracę oporu przeciwstawianego ruchowi na drodze $x = \infty$, albowiem wtedy tylko V będzie równe 0. Aby pochłonąć pozostałą energię przy końcu dowolnej skończonej drogi hamowania, należy do wysiłku opornika hydraulicznego dołączyć dodatkową siłę hamującą, np. tarcie, jak to zresztą było uskutecznione w budowie dawniejszych dział okrętowych i nadbrzeżnych.

Wówczas dla opóźniającej siły $K = B + R$ i wartości B z równania (7), równanie (52) przekształca sie w równanie

$$\frac{dV}{dx} = -\left[\frac{F^3 \gamma V}{2G \zeta f^2} + \frac{gR}{GV}\right] \tag{70}$$

czyli

$$dx = -\frac{2Gf^2 \zeta V}{F^3 \gamma V^2 + 2gRf^2 \zeta}\, dV$$

Po scałkowaniu go mamy

$$x = -\left|\frac{Gf^2\zeta}{F^3\gamma}\, ln\,(2gRf^2\zeta + F^3\gamma V^2)\right|_{V_0}^{V}$$

czyli

$$x = \frac{G f^3 \zeta}{F^3 \gamma}\, ln \frac{2FRf^2\zeta + F^3\gamma V_0^2}{2gRf^2\zeta + F^3\gamma V^2} \tag{71}$$

Skąd dla $F = 0$ otrzymamy wzór na określenie najmniejszej dopuszczalnej wartości x_e drogi hamowania

$$x_e = \frac{Gf^2\zeta}{F^3\gamma}\, ln\left(1 + \frac{F^3\gamma V_0^2}{2gRf^2\zeta}\right) \tag{72}$$

Przy dużym przekroju f otworów przelewowych, a stąd bardzo małym ułamku $\frac{F^3\gamma V_0^2}{2gRf^2\zeta}$, gdzie można przyjąć, że

$$ln\left[1 + \frac{F^3\gamma V_0^2}{2gRf^2\zeta}\right] = \frac{F^3\gamma V_0^2}{2gRf^2\zeta}$$

z równania (72) mamy

$$x_e = \frac{GV_0^2}{2gR}$$

jest to wzór na obliczenie najmniejszej dopuszczalnej wartości drogi hamowania przy $f = \infty$, a więc w wypadku zwykłego hamowania przez tarcie.

b) Prostolinijny opadający w dół przebieg zmiany przekroju otworów przelewowych.

Przy prostolinijnym opadającym w dół przebiegu zmiany przekroju otworów przelewowych, gdy możemy przyjąć np.

$$f = f_0\,(2 - x/r) \tag{73}$$

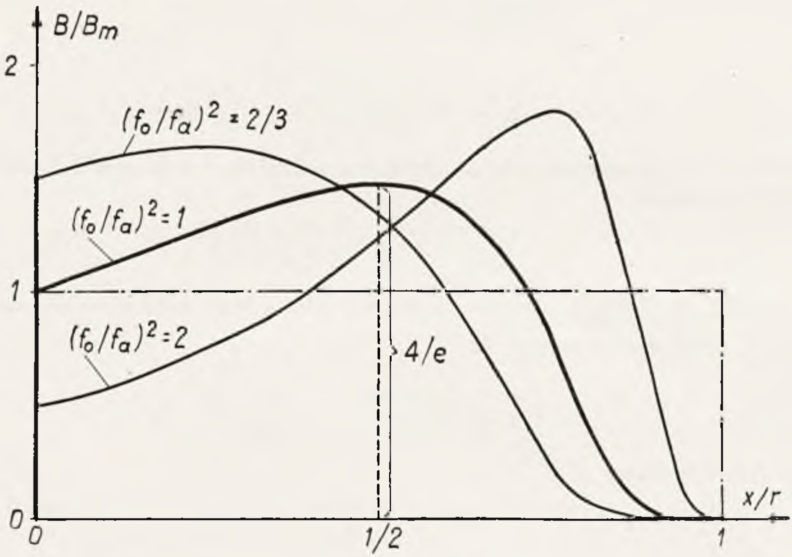
równanie (67) przekształca się w równanie

$$\frac{B}{B_m} = \frac{1}{\left(\frac{f_0}{f_a}\right)^2} \; \frac{e^{-\frac{1}{\left(\frac{f_0}{f_a}\right)^2}\int_{x/r=0}^{x/r}\frac{d\,(x/r)}{(1-x/r)^2}}}{(1-x/r)^2}$$

Skąd po scałkowaniu go mamy

$$\frac{B}{B_m} = \frac{1}{\left(\frac{f_0}{f_a}\right)^2} \; \frac{e^{-\frac{1}{\left(\frac{f^0}{f_a}\right)^2}\cdot\frac{x/r}{1-x/r}}}{(1-x/r)^2} \tag{74}$$

Na rys. 9 autor podaje wykresy dla B/B_m w funkcji x/r dla poszczególnych wartości $(f/f_a)^2$.



Rys. 9.

Uwzględniając warunek (73), otrzymamy z równania (66)

$$\frac{V}{V_0} = e^{-\frac{1}{2\left(\frac{f_0}{f_a}\right)^2}\int_{x/r=0}^{x/r}\frac{d\,(x/r)}{(1-x/r)^2}}$$

a po scałkowaniu go

$$\frac{V}{V_0} = e^{-\frac{1}{2\left(\frac{f_o}{f_a}\right)^2}\frac{x/r}{1 - x/r}} \tag{75}$$

Równania (74) i (75) oraz wykresy na rys. 9, na którym linia punktowana odpowiada stałemu wysiłkowi opornika hydraulicznego, pozwalają ustalić tę wielkość początkowego przekroju otworów przelewowych, dla którego maksymalny wysiłek opornika będzie możliwie najmniejszy.

Odpowiednią wartość x/r, dla której osiągniemy maksymalną wartość B/B_m dla danej wartości $(f_0/f_a)^2$ otrzymamy z równania (74) rozwiązując

$$\frac{d\,(B/B_m)}{d\,(x/r)} = 0$$

względem x/r skąd

$$x/r = 1 - \frac{1}{2\left(\frac{f_o}{f_a}\right)^2} \tag{76}$$

Podstawiając tę wartość x/r w równanie (74) mamy

$$\left(\frac{B}{B_m}\right)_{max} = 4\left(\frac{f_o}{f_a}\right)^2 e^{\frac{1}{\left(\frac{f_o}{f_a}\right)^2} - 2} \tag{77}$$

skąd rozwiązując

$$\frac{d\,(B/B_m)_{max}}{d\left(\frac{f_o}{f_a}\right)^2} = 0$$

względem $\left(\frac{f_o}{f_a}\right)$ otrzymamy dla minimalnej wartości maksywalnego wysiłku opornika

$$\left(\frac{f_o}{f_a}\right)^2 = 1$$

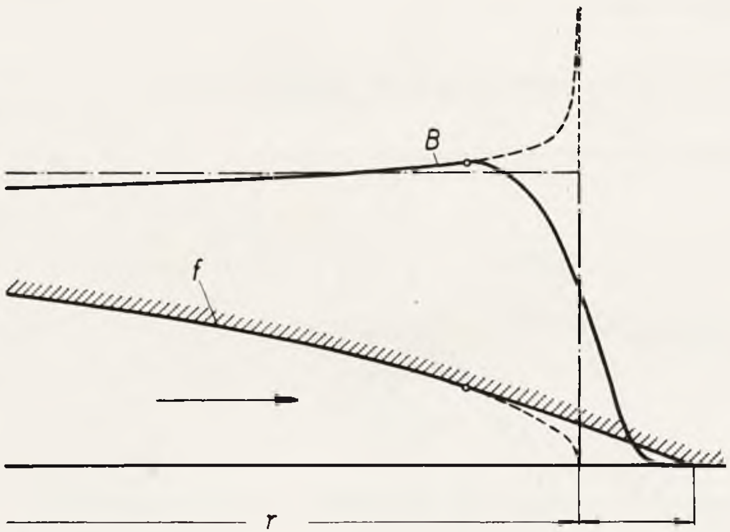
czyli maksymalną wartość $\left(\frac{B}{B_m}\right)$ uzyskamy możliwie najmniejszą przy $f_o = f_a$, a więc gdy przy prostolinijnym przebiegu zmiany przekroju otworów przelewowych przyjmiemy za początkowy przekrój otworów — przekrój wymagany przy parabolicznym przebiegu jego zmiany dla stałej wartości wysiłku opornika. Minimalną wartość $(B/B_m)_{max}$ określimy z równania (77) dla $f_o = f_a$, skąd

$$(B/B_m)_{max.\ min.} = \frac{4}{e} = 1{,}4715.$$

Punkt na osi odciętych, w którym występuje te najmniejsza maksymalna wartość B/B_m, określa się z równania (76) dla $\left(\frac{f_o}{f_a}\right)^2 = 1$, skąd

$$x/r = \frac{1}{2}$$

Przy prostolinijnym opadającym w dół przebiegu zmiany przekroju otworów przelewowych krzywa wysiłku opornika przy końcu drogi hamowania spada zawsze do wartości tego wysiłku równej zeru, stykając się w tym punkcie z osią odciętych. Przy tym nie zawsze jednak osiągniemy tu całkowite zamknięcie otworu przelewowego, a wysiłek opornika właściwie będzie równy zeru na nieco większej długości tej drogi (rys. 10); nadając zaś otworom przy końcu odrzutu przebieg ich zmiany według paraboli, tak aby otwór przy końcu drogi hamowania został całkowicie zamknięty, narażamy się na uzyskanie wartości wysiłku opornika w tym miejscu równej nieskończoności.



Rys. 10.

Stąd musimy zgodzić się na pewne powiększenie drogi hamowania, np. w granicach od 10 do 15 mm i dążąc, aby ją jak najwięcej skrócić — obliczyć przekrój otworów przelewowych na tej dodatkowej drodze *r* wg równania (29).

(d. c. n.)

Akustycznne wykrywanie samolotów niewidocznych — gen. inż. G. Guasco.

(Rivista di Artiglieria e Genio — Supplemento Tecnico, październik 1936*)*

Wstęp.

Autor podkreśla wielkie postępy, jakie we wszystkich państwach czyni nieustannie lotnictwo. By sprostać swym zadaniom, obrona pl. powinna przeciwstawić rozwojowi lotnictwa ciągłe ulepszenie swych środków. Wśród tych środków ważną

rolę odgrywa wykrywanie zawczasu i śledzenie lecących samolotów. Wykrywanie samolotów za pomocą wzroku nie zawsze jest możliwe. Nie tylko w nocy, ale i w dzień bardzo często posterunki obserwacyjne nie są w możności widzieć lotnika ukrytego za chmurami, we mgle itp. Musimy więc za pomocą odpowiednich środków powiększyć czułość słuchu tak, by nie tylko móc wykrywać zdaleka lecący samolot, ale potrafić także określić dokładnie jego położenie oraz kierunek lotu, a to w tym celu, by skierować nań ogień dział pl. Do tego służą *przyrządy nasłuchowe*, które powstały już w czasie Wielkiej Wojny; uległy one znacznym ulepszeniom i dają obecnie na ogół zadawalające wyniki; będą one mogły dać w przyszłości wyniki znacznie lepsze.

Po tych uwagach wstępnych autor przechodzi do planu pracy, która obejmuje:

a) powstawanie dźwięku;

b) jego rozprzestrzenienie w atmosferze;

c) zasadnicze cechy przyrządu nasłuchowego, jako urządzenia do uchwycenia i wzmocnienia energii dźwięku oraz jako środka do ulepszenia zmysłu kierunkowego gołego ucha;

d) konstrukcja ważniejszych przyrządów nasłuchowych używanych we Włoszech i za granicą;

e) nowe kryteria, jakimi należy powodować się w celu ulepszenia charakterystyki przyrządów nasłuchowych (zasięg odbioru, dokładność „celowania").

Ponieważ zjawisko dźwięku jest zawsze związane z trzema czynnikami, a mianowicie: źródłem dźwięku, środowiskiem elastycznym, przez który dźwięk idzie (powietrze) oraz uchem, które falę dźwiękową wyczuwa — przeto autor rozpatruje te czynniki naprzód oddzielnie, następnie we wzajemnej zależności. Do tego należy dodać przyrząd nasłuchowy (nasłuchownik), który poprzedza organ słuchu.

Część 1. Samolot jako źródło dźwięku.

Samolot, z punktu widzenia akustycznego, jest potężnym źródłem dźwięku, bardzo złożonym, ruchomym w przestrzeni; samoloty rozpatrywane jako źródła dźwięku, różnią się zależnie od konstrukcji i warunków lotu. Szumy, jakie wydaje samolot, są spowodowane różnymi czynnikami, a mianowicie: a) ujściem gazów, b) śmigłem; c) mechanicznymi szumami w motorze; d) wibracjami i gwizdem rozpórek.

Ujście gazów. Dźwięki są spowodowane rozprężaniem się gazów wydmuchowych z cylindrów. Dla normalnie używanych silników czterotaktowych o ilości obrotów od 1800 do 4800 na min. i od 6 do 24 cylindrów, częstotliwości dźwięków są zawarte w granicach od min. 90 okresów/sek. do max. 990 okr./sek.

Śmigło. Dźwięk jest tu głównie spowodowany różnicą ciśnień na dwóch powierzchniach ramion. Dla przeciętnych śmigieł, o ilości obrotów od 1200 do 4800 na min. i od dwóch do czterech ramion, częstotliwości dźwięku są zawarte między min. 40 i max. 320 okr./sek.

Mechaniczne szumy silnika pochodzą głównie od stuku krzywek rozrządczych, od dźwigni wentylowych, od stuku zaworów o ich siedzenia; do tego należy dorzucić chrzęst zazębień, sprężyn i bolców

Wibracje i gwizdy rozpórek mogą być w przybliżeniu zaliczone — zależnie od przyczyn ich powstawania — do dwóch kategorii: własne drgania skrzydeł, naciągów i różnych części, powstałe wskutek ruchów wzbudzonych w czasie lotu oraz

gwizdy (syczenia) wywołane przez powyższe części przy szybkim przecinaniu powietrza. Częstotliwości obu grup szumów wahają się od 100 do 10.000 okresów.

Natężenie szumów. Dokonane pomiary wykazały, że szumy powstałe z trzech pierwszych źródeł mają prawie to samo natężenie, a mianowicie: rozprężanie gazów: 110 decibeli; śmigło—110 decibeli; szumy mech.—102 db. Co się tyczy wibracji i gwizdów, to gwizdy są silniejsze, ale są one słyszane jedynie z bliskiej odległości, gdy samoloty planują z zamkniętym silnikiem. W pobliżu samolotu wszystkie wymienione szumy mieszają się, tworząc falę dźwiękową złożoną, której budowa zależy od rodzaju samolotu i od warunków lotu. Lecz szumy wibracyj i gwizdy szybko zostają pochłonięte wskutek ich dużej wysokości (częstotliwości), tak że już w odległości jednego kilometra skład fali dźwiękowej staje się prostszy, gdyż zawiera już tylko dźwięki wywołane wypływem spalin oraz pracą śmigła.

Następnie autor przytacza kilka oscylogramów dla zilustrowania, jak złożone są szumy wysyłane przez samolot. Oscylogramy te nie dają jednak pojęcia o ilościowej stronie zagadnienia. Do tego celu służą wykresy, gdzie na osi odciętych są odłożone częstotliwości, a na osi rzędnych odpowiadające tym częstotliwościom natężenia analizowanego dźwięku. Szereg przytoczonych w artykule wykresów dotyczy różnych warunków lotu; wykresy te zostały zdjęte tak na zewnątrz samolotu, na różnych od niego odległościach, jak i w kabinie pilota.

Odnoszą się one do samolotów starszych wzorów, przed 1932 r. Niektóre wykresy wskazują na wadliwe funkcjonowanie części mechanicznych (silnika).

Wykresy, zdjęte w pewnym odddaleniu od samolotu, wykazują wyraźnie przewągę natężenia w analizowanych szumach tych dźwięków, które pochodzą od pracy śmigła oraz wydmuchu gazów z silnika; maxima krzywych, pochodzące od tych dźwięków, leżą między 0 a 1000 okresów.

Natężenie dźwięków z silnika jest z reguły większe niż dźwięków śmigła.

Część 2. Ośrodek sprężysty rozchodzenia się dźwięków.

(Rozchodzenie się, szybkość i charakterystyka fali dźwiękowej w atmosferze).

Autor przypomina, że gdy punktowe (o wymiarach b. małych) źródło dźwięku drga z częstotliwością i odpowiadającym jej okresem T w atmosferze jednorodnej i spokojnej, to dokoła źródła tworzą się zagęszczenia i rozrzedzenia ośrodka rozłożone na powierzchniach kulistych. Fale te przy temperaturze 15^0 rozchodzą się z szybkością 341 m/sek. Jeżeli oznaczymy przez I_0, I_1 odpowiednie natężenia dźwięku w punktach A i B, przez r_0 i r_1 odległości tych punktów od źródła dźwięku, a przez ΔP_1 i ΔP_2 różnice ciśnień w otoczeniu tych punktów (amplitudy fali) to, jak wiadomo, zachodzą następujące zależności:

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{r_0^2}{r_1^2} \qquad \text{oraz}$$

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{(\Delta P_1)^2}{(\Delta P_0)^2} \qquad \text{skąd}$$

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_0} = \frac{r_0}{r_1}$$

Szybkość dźwięku w gazach podaje wzór:

$$V = \sqrt{\frac{k P}{\delta}} = \sqrt{k . P . v . g}$$

gdzie: V szybkość, $k = \frac{C_p}{C_v}$ stosunek ciepła właść. gazu przy stałym $\left(\frac{gr}{cm^3}\right)$ do ciepła właśc. przy stałej objętości, $\delta = \frac{1}{vg} = \frac{m}{v}$ gęstość właściwa gazu $\left(\frac{gr}{cm^3}\right)$; v — objętość właściwa.

Liczbowo przy ciśnieniu 760 mm Hg i temperaturach odpowiednio 0^0 i 15^0 szybkości dźwięku wynoszą:

$V_0 = 331$ m/sek; $V_{15} = 341$ m/sek. z dużym przybliżeniem; w obszarze temperatur i ciśnień praktycznie nas interesujących możemy przyjąć, że zmiana temperatury o jeden stopień zmienia szybkość dźwięku o 1,83 promille, czy o 0,62 m/sek, skąd wzór:

$$Vt = V_0 + 0{,}62\, t$$

Doświadczenie potwierdza całkowicie ten wzór.

Przyczyny zaburzeń w rozchodzeniu się dźwięku są rozliczne i dadzą się one podzielić na 5 następujących grup:

a) pochłanianie ośrodka;
b) załamanie się dźwięku;
c) paralaksa akustyczna;
d) zmiana wysokości dźwięku (tonu);
e) zjawiska interferencji.

Pochłanianie ośrodka. Energia fali dźwiękowej ulega osłabieniu wskutek tarć cząsteczek powietrza oraz zmiany energii mechanicznej na ciepło przy zgęszczeniu i rozrzedzeniu warstw powietrza. Oznaczając przez I natężenie dźwięku w danym punkcie, I_0 — natężenie początkowe $\left(\frac{erg}{cm^2/sek.}\right)$, α — współczynnik absorbcji dźwięku na cm drogi fali, z — odległość rozpatrywanych punktów w cm, wreszcie e — podstawa log, nat.; mamy

$$I = I_0\, e^{-z\alpha}$$

Współczynnik α rośnie jak kwadrat częstotliwości; wskutek tego dźwięki pochodzące od tarcia części samolotu o powietrze (gwizdy), których częstotliwość jest znaczna, szybko zanikają i—nawet przy zamkniętym silniku — nie dają się uchwycić na odległości powyżej 1 km. Przeciwnie, dźwięki niskie, jakie wydaje śmigło i silnik, (o częstotliwości 100 do 1000 okresów) praktycznie biorąc nie ulegają absorbcji nawet na odległościach największego zasięgu przyrządów nasłuchowych, tj. 20—30 km; dla tych dźwięków przeciętnie $\alpha = 0{,}810^{-10}$ na cm. Główną przyczyną osłabienia dźwięku są w danym wypadku: sferyczne rozchodzenie się fali, a następnie wszystko, co zmienia jednolitość ośrodka, a więc przede wszystkim zmiany temperatury.

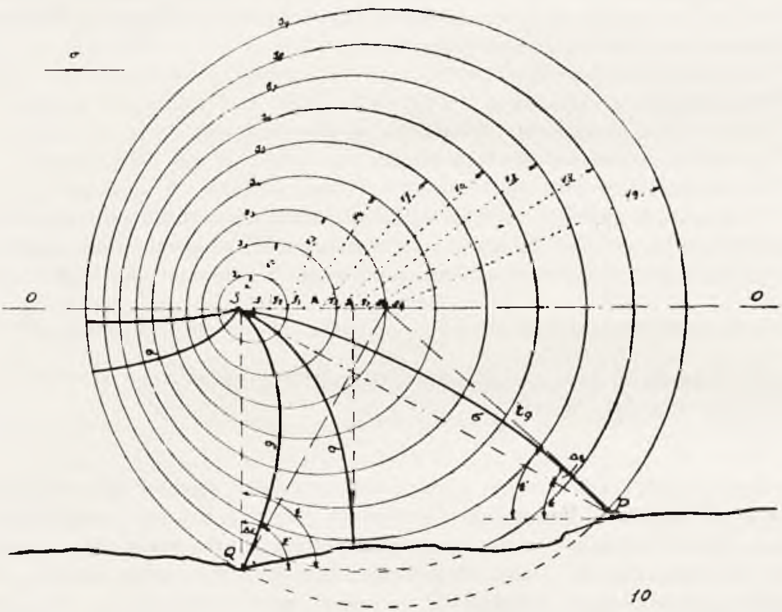
Warstwy powietrza o różnej temperaturze, szczególnie przedzielone powierzchniami o nieprawidłowych kształtach, powodują odbicia i załamania dźwięku, a więc i straty. Zjawiska te mają znacznie większy wpływ na osłabienie natężenia przy rozchodzeniu się dźwięku niż przy rozchodzeniu się światła. Mgła niweluje znacznie niejednorodność cech atmosfery i sprzyja dobremu rozprzestrzenianiu się dźwięku.

Załamania i zniekształcenia fali dźwiękowej. Zmiany właściwości powietrza jako ośrodka rozchodzenia się dźwięku, powstałe wskutek różnic temperatury oraz

pod wpływem wiatru, powodują odchylenia promienia rozchodzącego się dźwięku od linii prostej; do tego dołączają się zjawiska odbicia dźwięku od ziemi.

Różnice gęstości powietrza, spowodowane różnicami temperatury, wywołują załamania się drogi dźwięku pochodzącego od samolotu w ten sposób, że droga ta przybiera kształt krzywej, obróconej wklęsłością ku górze. Wskutek tego „akustyczny" kąt położenia źródła dźwięku, wzniesionego nad poziom ucha podsłuchującego, jest zawsze mniejszy od kąta położenia rzeczywistego (optycznego), innymi słowy— poprawka kąta położenia na refrakcję dźwięku jest zawsze dodatnia.

Wiatr jednostajny na całej wysokości od źródła do ziemi powoduje również zmianę powierzchni fali dźwiękowej i zakrzywienie promienia dźwiękowego (rys. Nr 1). Często zachodzi taki wypadek, że szybkość wiatru rośnie w miarę wzrostu wysokości. Wygląd fal i krzywych rozchodzenia się dźwięku—przy założeniu równomiernego wzrostu szybkości wiatru z wysokością—podaje rysunek Nr 2.

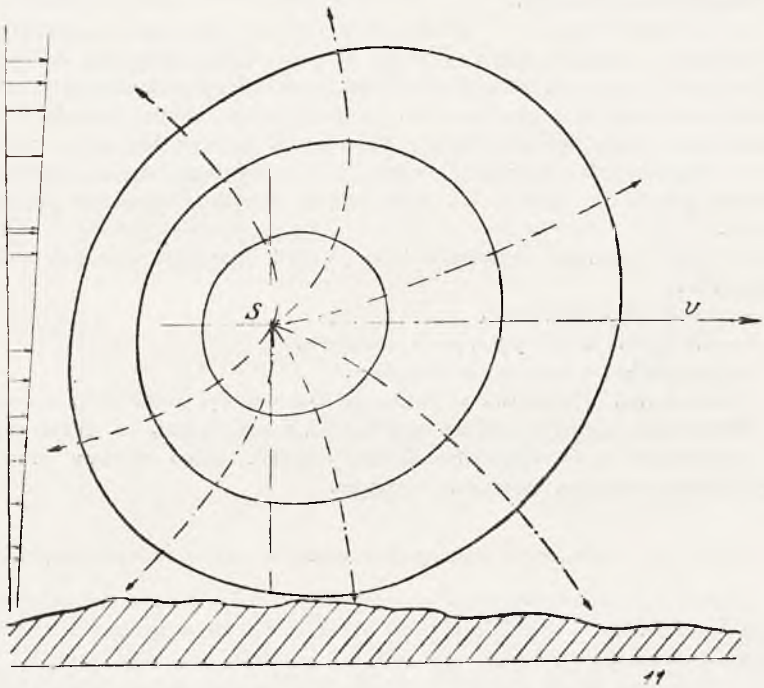


Rys. 1.

Zjawisko uginania się promieni dźwiękowych i zniekształcenia fali komplikuje jeszcze *odbicie dźwięku od powierzchni ziemi* oraz wzajemna interferencja fali padających i odbitych. Wynik zależy od ukształtowania terenu, jego charakteru (morze) i innych czynników, które często tak komplikują charakter całego zjawiska. że nie daje się ono wcale przewidzieć z góry.

Błąd paralaksy akustycznej. Szybkość dźwięku w powietrzu jest stosunkowo mała; zanim więc dźwięk dojdzie do ucha nasłuchującego, samolot zajmie inne położenie w przestrzeni niż to, którego kierunek w tej chwili określamy drogą nasłuchu; kierunek akustyczny określa położenie „przeszłe", w którym samolot był, gdy powstała ta fala dźwiękowa, którą w tej chwili słyszymy. Powstający wskutek

tego błąd nazywamy błędem paralaksy akustycznej; jest rzeczą oczywistą, że w ogólnym wypadku błąd ten wyraża się jednocześnie jako błąd kierunku poziomego i kąta położenia. Wartości tych błędów zależne są od odległości samolotu, od jego szybkości oraz kierunku lotu; sięgają one dziesiątków stopni. Możność obliczenia tych błędów jest pierwszym warunkiem użyteczności nasłuchu.



Rys. 2.

Zmiana wysokości (tonu) i natężenia dźwięku są spowodowane dwiema przyczynami: a) zjawiskiem Dopplera, b) interferencją fal dźwiękowych spowodowanych ewolucjami samolotu (np. zakrętami).

a) *Zjawisko Dopplera* (znane dobrze z fizyki w odniesieniu do dźwięku i światła) polega na tym, że wysokość (ton) dźwięku, jaki dochodzi do ucha od źródła ruchomego, jest większa lub mniejsza od własnej wysokości samego źródła, zależnie od tego, czy źródło zbliża się do ucha, czy też się oddala.

Jeśli oznaczymy przez V szybkość dźwięku, przez v — szybkość, z jaką źródło dźwięku zbliża się lub oddala od ucha, przez f częstotliwość drgań źródła nieruchomego (wysokość tonu) a przez f' częstotliwość, jaką uchwytuje ucho, to mamy następującą zależność:

$$f' = f \frac{V}{V \mp v},$$

przy czym znak „minus" w mianowniku dotyczy wypadku, gdy źródło się zbliża do ucha, a znak „plus" — gdy się oddala.

b) *Zjawisko interferencji dźwięku* obserwujemy szczególnie przy samolotach kilkomotorowych, gdy przy skręcie wzajemne położenie silników w stosunku do obserwatora (nasłuchującego) ulega zmianie.

Tu zachodzą wahania chwilowe wysokości i natężenia dźwięku. Podobne zjawisko powstaje i przy samolotach jednosilnikowych.

Zjawisko interferencji.

a) *Zjawisko Murray'a* zachodzi, gdy samolot przelatuje w pobliżu zenitu. Gdy słuchający szybko opuszcza głowę w dół, odnosi wrażenie, że wysokość dźwięku rośnie; przyczyną zjawiska jest interferencja fal przychodzących i odbitych. Warunkiem występowania zjawiska jest, by teren dobrze odbijał dźwięk. Wykryto ten fenomen w czasie Wielkiej Wojny; obserwował je fizyk Murray — stąd nazwa.

b) *Interferencja* dźwięków śmigieł i silników tego samego płatowca, spowodowana istnieniem różnicy faz tych źródeł dźwięku, wywołuje periodyczne dudnienia.

c) Należy ponadto wymienić kilka innych przyczyn zaburzeń nasłuchu, a mianowicie:

— szum kilku samolotów,
— huk wystrzałów i pękających pocisków,
— przypadkowe zaburzenie atmosfery,
— zaburzenia dźwiękowe w otoczeniu (samochody, szum rzek, morza itp.).

Wymienione szumy trwają na ogół krótko, z przerwami, są dużej częstotliwości i wzajemnie są do siebie niepodobne, wskutek czego możemy przeważnie wydzielić szum samolotu, który nas interesuje.

Część 3. Właściwości fizjologiczne nasłuchu uchem nieuzbrojonym.

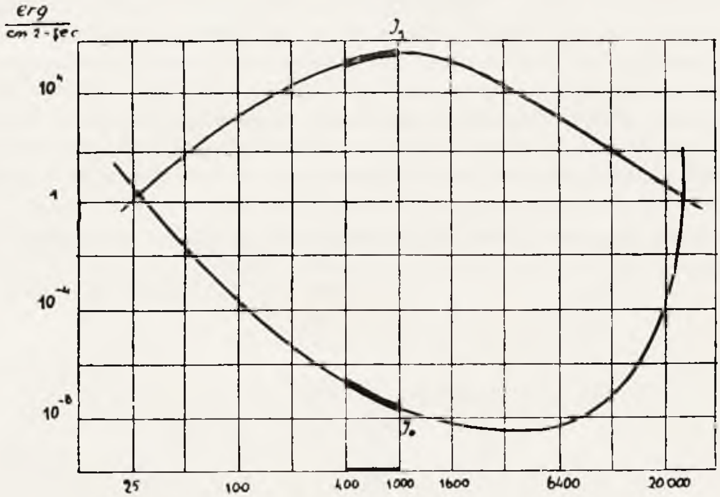
Czułość. Z punktu widzenia energetycznego ludzkie ucho jest organem niezmiernie czułym: dla częstotliwości 1800 okresów dźwięk o natężeniu rzędu 10^{-12} μ Watt/cm^2, czyli 10^{-11} erg/cm^2 sek jest już słyszany. Na ogół człowiek słyszy dźwięk w granicach od 20 do 20.000 okresów/sek., aczkolwiek są jednostki mogące uchwycić dźwięki jeszcze wyższe.

Wykresy czułości słuchu. Jest rzeczą bardzo ważną ustalenie najmniejszego natężenia dźwięku, które jeszcze może być uchwycone. To natężenie minimum zależy od częstotliwości. Maksimum czułości ludzkiego ucha przypada w okolicy 2500 okresów. Wahania słyszalnego natężenia minimum w zależności od wysokości dźwięku są ogromne. Najmniejsze natężenie słyszalne dla 100 okresów jest wiele tysięcy razy większe od natężenia minimum dla 1000 okresów. Obok krzywej minimalnych natężeń (które ludzkie ucho jeszcze chwyta) w funkcji częstotliwości, interesuje nas także krzywa natężeń maksymalnych, przy dalszym wzroście których wrażenia dźwiękowe stają się przykre, a nawet bolesne; w każdym razie ucho zatraca zdolność odróżniania tonu dźwięków zbyt silnych. Dźwięki o tej sile mamy w pobliżu samolotu z pracującym silnikiem; natężenia ich wynoszą około 120 decibeli, co odpowiada $1{,}5 \cdot 10^5$ erg/cm^2 sek.

Na rysunku Nr 3 widzimy 2 krzywe: dolną I_o,—natężeń słyszalnych minimalnych oraz górną I_s — natężeń maksymalnych. Krzywe otrzymano, odkładając na osi odciętych logarytmy częstotliwości, a na osi rzędnych — logarytmy natężeń.

Rozpatrzmy obie krzywe w obszarze dźwięków, jakie wysyła samolot, tj. od około 100 do ok. 1000 okr.; podzielmy ten obszar na dwie części: dźwięków niskich,

od ok. 100 do 400 okr. i wysokich od 400 do 1000 okresów. Widzimy, że w obrębie dźwięków od 400 do 1000 okr. przypada prawie maksimum czułości ludzkiego ucha. Widzimy również, że gdy niezbędne minimum natężenia (krzywa dolna) wynosi ok. 10^{-8} erg/cm² sek. dla 1000 okresów, to graniczne natężenie maksimum (krzywa górna) dla tej samej częstotliwości dochodzi prawie do 10^{5} erg/cm² sek., czyli że rozpiętość tych wartości jest ogromna. Z krzywej dolnej wynika również,



Rys. 3.

że przy innych równych warunkach — a w szczególności przy równej sile — naprzód słyszymy dźwięki wysokie. Stąd widać, jak ważną jest rzeczą dla powiększenia zasięgu nasłuchu to, żeby nasłuchownik odtwarzał dobrze wysokie dźwięki szumu samolotu, a nie tylko niższe, o co często nie dbano. Na zakończenie tych rozważań autor przytacza wzór na *wrażenie dźwiękowe* w zależności od natężenia dwóch porównywanych dźwięków o tej samej częstotliwości.

$S = 10 \log \frac{I}{I_0}$ (w decybelach), gdzie I i I_0 oznaczają natężenia.

Efekt słuchowy kilku dźwięków. Do ucha naszego przeważnie dochodzi szereg dźwięków o różnym natężeniu, wysokości i barwie (tembrze). W tym wypadku jedne dźwięki osłabiają wrażenie innych według następujących praw:

a) energia, potrzebna do stłumienia dźwięków o różnych częstotliwościach, rośnie do pewnego maksimum, a następnie maleje;

b) dźwięk silniejszy zagłusza z łatwością drugi słabszy, gdy ich tony zasadnicze i barwy są zbliżone;

c) dźwięki niskie łatwiej zagłuszają dźwięki wysokie niż odwrotnie;

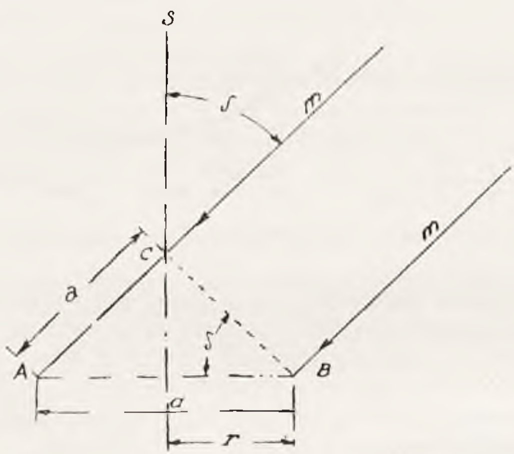
d) zjawisko wrażenia dźwiękowego komplikuje się wraz z wysokością dźwięku przytłumiającego.

Trwałość dźwięków. Dla uchwycenia i określenia dźwięku ucho potrzebuje pewnego czasu; czas ten jest większy dla dźwięków niskich niż wysokich. Czas ten wyraża się ułamkami sekundy.

Zdolność rozdzielcza polega na możności rozróżnienia wśród różnych dźwięków równoczesnych jednego z dźwięków; wyróżnienie także jest możliwe, o ile dźwięki towarzyszące nie górują zbytnio intensywnością nad dźwiękiem wybranym. Zważywszy różnorodny charakter dźwięków na polu bitwy, możemy liczyć na wyodrębnienie i śledzenie uchwyconego samolotu, o ile inne szumy zbytnio go nie zagłuszają.

Czynniki fizjologiczne, psychiczne i fizyczne. Liczne doświadczenia wykazują, że zasięg nasłuchu jest o wiele większy, gdy chodzi o utrzymanie oddalającego się samolotu, już uchwyconego, niż o uchwycenie samolotu po raz pierwszy. Odgrywają tu rolę czynniki psychiczne, fizjologiczne i fizyczne. Psychicznie może odgrywać rolę pewien niepokój nasłuchującego, pragnącego uchwycić dźwięk; gdy natomiast samolot jest już uchwycony, uwaga nasłuchującego jest lepiej skoncentrowana. Fizjologicznie, wrażenie nie jest jednoczesne z podrażnieniem, lecz opóźnione, Odwrotnie, z ustaniem podrażnienia, wrażenie trwa jeszcze pewien czas.

Fizyczna przyczyna jest ta, że gdy samolot się oddala, to przeważaję dźwięki niskie, których natężenie jest w szumie samolotu większe.



Rys. 4.

Zdolność kierunkowa słuchu nieuzbrojonego. Polega ta zdolność na możności nasłuchującego zwrócenia głowy na wprost kierunku źródła dźwięku. Jeśli płaszczyzna symetrii głowy tworzy duży kąt z kierunkiem dźwięku, to odnosimy wrażenie, że słyszymy dźwięk tylko jednym uchem. Obracając głowę w stronę dźwięku dążymy do tego, żeby łączącą oba uszy prostą AB (rys. 4) ustawić prostopadle do kierunku dźwięku. Rozpatrzmy płaską falę dźwiękową złożoną z promieni równoległych m, tworzących z prostopadłą, wystawioną w środku odcinka AB, kąt δ; odległość AB między uszami oznaczymy przez $d = 2$ r. By dojść do ucha A, dźwięk musi przebyć drogę dłuższą niż do ucha B o odcinek $a = d \sin \delta = 2r \sin \delta$. Wzór ten jest ścisły geometrycznie, należy jednak przyjąć, że głowa jest bryłą. Przyjmijmy dla uproszczenia, że ma ona kształt kuli o promieniu $r = 8$ cm. Z rys. 5 wynika, że różnica przebiegu dźwięku składa się z dwóch odcinków b i c, z któ-

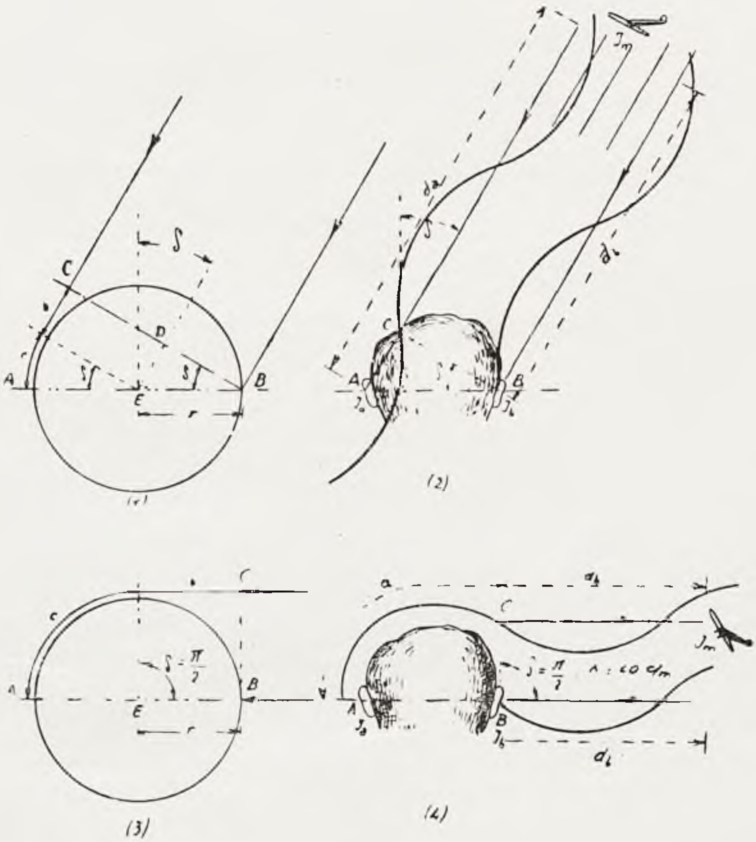
rych pierwszy jest prostoliniowy $b = r \sin \delta$, a drugi jest łukiem koła $c = r \delta$, gdzie kąt δ jest oczywiście wyrażony w mierze bezwzględnej.

Wskutek powiększenia drogi dźwięku od źródła do punktu A w porównaniu z drogą do punktu B zachodzą trzy zjawiska akustyczne:

a) różnica faz czyli różnica ciśnień powietrza w obu uszach;

b) różnica czasu między dwiema chwilami, w których są pobudzane te same punkty;

c) różnica natężeń dźwięku.



Rys. 5.

Zjawiska te są wytłumaczeniem tzw. zasady niesłuchu dwuusznego, polegającej na tym, że każde z uszu otrzymuje wrażenie indywidualne, nieco odmienne od drugiego ucha, a różnica ta zostaje zarejestrowana w odpowiednim ośrodku mózgowym. Całość zjawiska składa się na powstanie omawianego zmysłu kierunkowego.

Różnica faz. Określamy ją ze wzoru (rys. 5).

$$\varphi = 2\pi \frac{(b + c)}{\lambda} = 2\pi \frac{r(\sin \delta + \delta)}{\lambda}$$

gdzie zmiennymi są kąt δ i długość fali λ.

Przy danym λ, φ rośnie z kątem δ, a gdy $\delta = \frac{\pi}{2}$, φ osiąga maximum równe $16{,}139 \frac{r}{\lambda}$. Przy danym δ różnica faz φ rośnie, gdy λ maleje, czyli z wysokością tonu. Dla przykładu, gdy $\delta = 90^0$ (dźwięk z jednej strony głowy) a $\lambda = 40$ cm, to

$$\varphi = 2\pi \frac{8\left(1 + \frac{\pi}{2}\right)}{40} \simeq \pi$$

czyli, że do jednego ucha dochodzą fale o fazach przeciwnych. Z rozważań tych wynika, że tony wysokie (400 — 1000 okresów) zawarte w szumie samolotu nie tylko są najlepiej chwytane przez ludzkie ucho, lecz sprzyjają także lepszemu wyczuciu kierunku. W wypadku dźwięków złożonych decyduje średnia długość fali, bądź też długość fali tonu dominującego.

Różnica czasów dojścia dźwięku od źródła do każdego z uszu wyrazi się wzorem:

$$t = \frac{a}{V} = \frac{r(\delta + \sin\delta)}{V}$$

gdy a = 1 cm, to $t \approx 3.10^{-5}$ sek., co odpowiada kątowi δ około $3^0 30'$; jest to różnica, którą może ułowić ucho przeciętne; ludzie szczególnie w tym kierunku uzdolnieni i wyszkoleni mogą wyczuć różnicę czasów $1{,}10^{-5}$ sek. Ze wzoru wynika, że różnica czasów rośnie z kątem δ i osiąga wartość 60.10^{-5} sek., gdy kąt $\delta = 90^0$ (kierunek dźwięku równoległy do prostej łączącej oba uszy). Różnica czasów dojścia dźwięków jest więc ogromnie mała; odczuwa ją nasłuchujący w chwili ułowienia dźwięku lub w chwili jakichś gwałtownych jego zmian, np. w chwili wahań głowy. Stąd powstaje uczucie „przejścia" dźwięku z ucha do ucha; kąt wahań wyraźnie powodujących uczucie „przejścia" wyniesie więc $3^0 30' \times 2 = 7^0$; dla ucha niewyszkolonego kąt ten wynosi przeważnie 10^0.

Różnica natężenia dźwięku w obu uszach jest znikoma, gdyż jest ona proporcjonalna do czynnika $\left(\frac{1}{d_a^2} - \frac{1}{d_b^2}\right)$ gdzie d_a i d_b są to odpowiednie odległości od źródła dźwięku do jednego i drugiego ucha. Rzecz oczywista, że przy odległości między uszami ok. 16 cm, różnica ta może być wyczuta tylko wówczas, gdy źródło dźwięku jest b. blisko, tym bardziej że ucho jest zdolne wyczuć różnice natężenia powyżej 20%. To też dla uszu nieuzbrojonych różnice natężeń są wyczuwalne, gdy źródło jest w odległości 1,70 m. Przy sztucznym powiększeniu odległości między uszami, odległość między odbiornikami (podstawa), umożliwiająca wyczucie różnic natężenia, musi wynosić 0,12 odległości źródła; to znaczy, że dla samolotu odległego o 1000 m podstawa ta wyniosłaby 120 m. W niektórych nasłuchownikach konstruktorzy usiłowali powiększyć efekt różnic natężenia dźwięku w sposób sztuczny przez odpowiednią konstrukcję odbiorników nasłuchownika (muszli). W każdym razie z trzech rozpatrzonych zjawisk (różnica faz, czasów i natężenia) decydującą jest dla wyczucia kierunku, jak się zdaje, różnica faz.

Zmysł kierunkowy uszu uzbrojonych w przyrządy nasłuchowe.

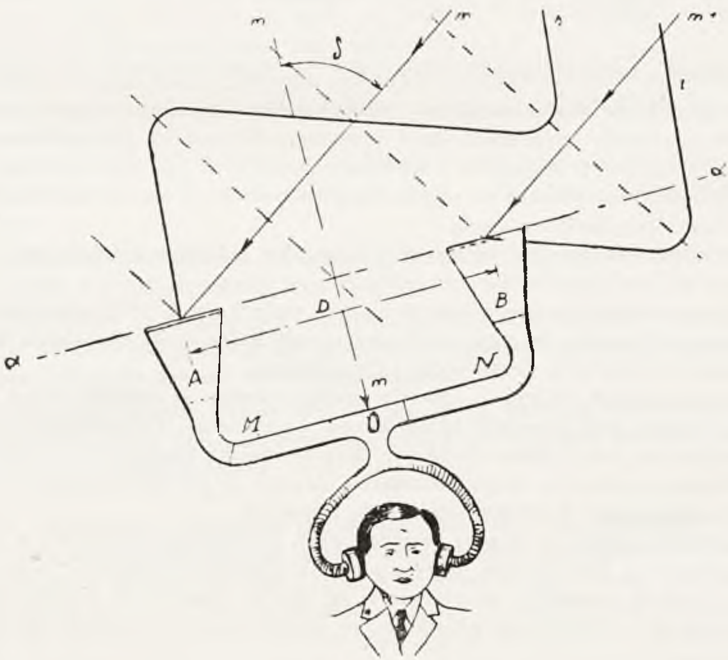
Przy podsłuchu uchem nieuzbrojonym wykorzystujemy zjawiska związane z nasłuchem obu uszami; przy użyciu nasłuchownika możemy wykorzystywać także zjawisko interferencji fal.

Przy nasłuchu za pomocą przyrządów i wykorzystaniu pierwszego efektu schemat nasłuchownika przedstawia rys. 6: dwie jednakowe muszle są połączone każda odpowiednio z jednym uchem identycznymi przewodami; zjawiska, zachodzące przy kierowaniu przyrządu na źródło dźwięku, są więc zupełnie analogiczne do zjawisk przy nasłuchu uchem niezbrojonym; jedynie odległość między uszami



Rys. 6.

zostaje jakby powiększona sztucznie do rozstępu między osiami obu muszli nasłuchownika, przez co zostają stosownie wzmocnione: efekt działania różnicy faz, czasów oraz natężeń dźwięku. Dzięki temu maleje kąt wahań, potrzebnych dla uzyskania wrażenia przejścia dźwięku z ucha do ucha, a mianowicie w przybliżeniu kąt



Rys. 7.

ten jest odwrotnie proporcjonalny do podstawy (bazy) przyrządu, tj. odległości między osiami muszli. W ten sposób, przy bazie 1,5 m kąt wahań maleje 10-krotnie, w porównaniu z nasłuchem przy uchu nieuzbrojonym. Zasadę działania nasłucho-

wnika, opartego na zjawisku interferencji dźwięku, przedstawia rysunek 7; fale dzwiękowe dochodzą do każdej muszli w innej fazie, po czym zostają odprowadzone jednakowymi przewodami do przestrzeni 0, gdzie się łączą. W przestrzeni 0 zachodzi interferencja fal, skąd dwiema jednakowymi rurami dźwięk dochodzi do każdego ucha. Rzecz oczywista, że wrażenia obu uszu są jednakowe. Gdy oś nasłuchownika jest równoległa do kierunku ruchu dźwięku ($\delta = 0$), to natężenie dźwięku jest największe, gdyż żaden z tonów składowych nie ulega usłabieniu; gdy kąt δ nie równa się zeru, natężenie dźwięku maleje. Zanikanie dźwięku (cisza) może zachodzić jedynie przy dźwięku jednotonowym; przy dźwięku złożonym tylko jeden z tonów składowych może ulegać zanikaniu; reszta jedynie słabnie wskutek interferencji. Tak więc przyrządy, oparte na zasadzie interferencji, wykorzystują dla określenia kierunku wyczucie maksimum natężenia dźwięku; całkowita energia ułowionej fali dźwiękowej jest w nich wyzyskana jedynie w chwili skierowania nasłuchownika wprost na źródło. Przeciwnie, przyrządy oparte na zjawisku wyczucia dwuusznego, wyzyskują i w czasie wahań całą moc ułowionej fali; ponadto zjawiska opisane poprzednio (różnica faz i czasów) pozwalają na dokładniejsze wyczucie kierunku niż określenie maksimum natężenia.

Wniosek: przyrządy typu interferencyjnego są mniej dokładne od przyrządów opartych na zasadzie „wyczucia dwuusznego". Przyrządy „interferencyjne", wcześniejsze chronologicznie, nie są już więcej wyrabiane obecnie.

Część 4. Charakterystyka nasłuchowników w odniesieniu do ich użycia.

Klasyfikacja nasłuchowników. Nasłuchowniki używane obecnie różnią się w zasadzie głównie wymiarami oraz prostszą lub bardziej skomplikowaną konstrukcją. Podzielić je można na 2 kategorie:

1) duże, przeznaczone na wyposażenie bateryj (lub kompanij reflektorów) dla umożliwienia strzelania na słuch;

2) małe, służące do wykrywania kierunku nalotu samolotów npla, a więc przeznaczone dla posterunków obs.-meld.

Autor podaje opis trzech wzorów dużych nasłuchowników: 1 włoskiego i 2 zagranicznych. Przyrządy te mają po 2 pary muszli: jedną — dla określenia kąta kierunkowego (azymutu), a drugą — dla kąta położenia.

Nasłuchownik Goerza [1]. Muszle nasłuchownika sa paraboloidami obrotowymi, ściętymi pod pewnym kątem do osi paraboloidy; z paraboloidą jest połączona elipsoida, której jedno ognisko F_1 leży w ognisku paraboloidy; elipsoida jest jednocześnie przewodem doprowadzającym dźwięk z paraboloidy do ucha, ucho zaś jest umieszczone w drugim ognisku F_2 elipsoidy.

Dźwięk, odbity od ścianek wewnętrznych paraboloidy skupia się w jej ognisku F_1, (będącym jednocześnie jednym z ognisk elipsoidy—przewodu), stąd, po odbiciu od ścianek elipsoidy, skupia sie w jej drugim ognisku F_2 i wpada do ucha nasłuchującego [2]. (Zakładamy naturalnie, że „promienie" rozchodzenia się dźwięku

---

[1]) Krótki opis i fotografia — patrz książkę: ppłk. W. Vorbrodt — „Najnowsze zdobycze techniki artyl." (str. 83—84, rok wyd. 1930) i „Uzupełuienie I-sze" do tej książki (rok wyd. 1932) str. 36—38. (Przyp. rec.).

[2]) Rozumowanie to, powtórzone w katalogach f-my Goerz oraz w szeregu artykułów, jest dalekie od ścisłości. Zastosowanie bowiem praw akustyki „geome-

są w pobliżu muszli do siebie wzajemnie równoległe, co można przyjąć zważywszy dużą odległość źródła dźwięku od nasłuchownika).

Jeśli dźwięk nadchodzi od strony lewej, to większość promieni dźwiękowych odbitych od wewnętrznych powierzchni prawego paraboloidu przechodzi poza elipsoidą, doprowadzającą dźwięk do prawego ucha, a więc do prawego ucha dochodzi bardzo mało energii dźwiękowej. Przeciwnie, dźwięk od muszli lewej prawie całkowicie przechodzi do przewodu elipsoidalnego i skupia się w lewym uchu. W ten sposób efekt „dwuuszny" zostaje wzmocniony dodatkowo przez powiększenie natężenia dźwięku w jednym, a osłabienie w drugim uchu. Gdy płaszczyzna symetrii nasłuchownika jest skierowana na źródło dźwięku, to oba uszy otrzymują te same wrażenia, a nasłuchujący wyczuwa, że źródło dźwięku jest wprost przed nim.

Urządzenie do nasłuchu w położeniu jest zupełnie podobne do określania kierunku poziomego; zjawiska zachodzące są takie same, jak przy nasłuchu w kierunku, jedynie słowa „prawo", „lewo" należy zamienić słowami „góra", „dół".

Całość nasłuchownika składa się: z dwóch par muszli z przewodami; z kolumny, na której są zmontowane muszle; siedzenia obsługi oraz obrotowego pomostu. Nasłuchownik połączony jest również z korektorem akustycznym i nadajnikami elektrycznymi do teletransmisji. Całość stoi na platformie (przewożonej tak lub inaczej, zależnie od typu).

Typ, opisany przez autora, waży ok. 3600 kg; [1]) powiększenie zasięgu, w porównaniu z uchem nieuzbrojonym ma wynosić ok. 1,9.

Nasłuchownik Sperry [2]) Muszle (odbiorniki) w przekroju osiowym mają kształt krzywej wykładniczej; jest ich, jak zwykle, dwie pary; osie muszli każdej pary są nieco rozbieżne.

Nasłuchownik jest zaopatrzony w korektor dla kierowania reflektorem i urządzenia do teletransmisji. Powiększenie zasięgu ucha nieuzbrojonego wynosi dla niego 1,8.

Nasłuchownik Galileo. Ma muszle o kształcie paraboloidów krótkoogniskowych, a więc o dużej głębokości (rys. 8).

Paraboloidy są chronione z zewnątrz powłoką filcową i z nieprzemakalnego jedwabiu; obrzeże jest wzmocnione pierścieniem metalowym, który ma za zadanie amortyzować drgania ścianek wywołane wiatrem.

Przewody, łączące odbiorniki z uszami, mają przekrój kołowy, promienie wygięć przewodów są duże, żeby uniknąć strat i zniekształceń dźwięku. Przewody te są zrobione z lekkiego stopu.

---

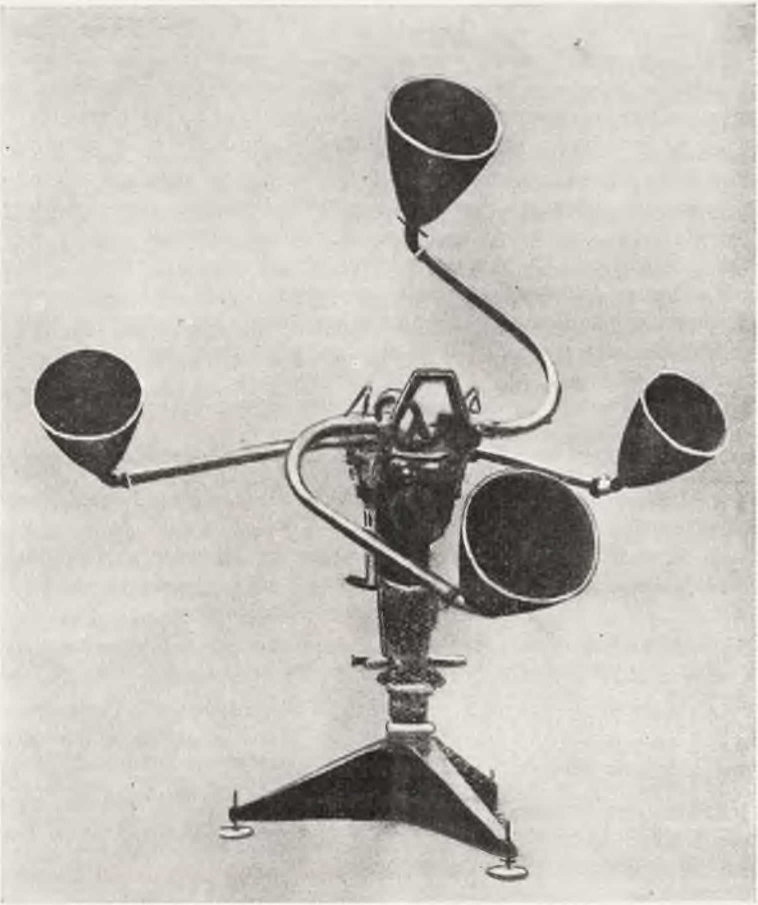
trycznej" wtenczas jest dokładne, gdy długość fali dźwiękowej jest mała w porównaniu z wymiarami odbiornika. Analiza jednak szumów, dochodzących od samolotu, jak to wynika z tego, co już było powiedziane przez autora w części 1-ej, wykazuje dźwięki o częstotliwości 100—1.000 okresów (przy czym największe natężenie mają właśnie dźwięki niskie: 100—200 okr.), czyli o dług. fali od 3,3 m do 0,33 m. podczas gdy średnica muszli jest rzędu 1 m. Zjawisko więc zachodzące w odbiornikach jest znacznie bardziej skomplikowane niż geometryczny schemat (przyp. rec.).

[1]) Sądząc z niezbyt wyraźnej fotografii typ opisany jest przewożony na wąskotorowych szynach (przyp. rec.).

[2]) Został opisany szczegółowo w Przeglądzie Art. w 1931 r. marzec, str. 352 — 360 (przyp. rec.).

Osie muszli nie są do siebie wzajemnie parami równoległe, lecz są rozbieżne, co ma powiększać efekt „dwuuszny".

Przewody są zakończone końcówkami z gumy, o specjalnym kształcie, ułatwiającym doprowadzenie dźwięku wprost do ucha.



Rys. 8.

Ważną cechą odbiorników (muszli) nasłuchownika Galileo jest to, że konstrukcja ich sprzyja wzmocnieniu wyższych tonów dźwięku samolotu, tj. od 200 do 800 okresów, a właśnie dźwięki tej częstotliwości mają w „widmie" dźwiękowym nasłuchownika największe natężenie. Fakt ten zmniejsza wrażliwość nasłuchownika na szumy „pasożytnicze", uboczne, jak np. hałasy samochodowe, gdyż te szumy uboczne mają przewagę tonów niskich.

Wewnątrz kolumny (rys. 8) i podstawy są umieszczone organy do napędu korektora akustycznego, który w razie potrzeby może być ustawiony na nasłuchowniku.

Nasłuchownik Galileo waży tylko 200 kg; powiększenie zasięgu gołego ucha wynosi przy nim 2,5, podczas gdy inne nasłuchowniki—jak twierdzi autor—chociaż są drogie, ciężkie i objętościowe, mają ten współczynik mniejszy od 2.

Nasłuchowniki małe.

Nasłuchowniki małe dla posterunków obs. meld. są lekkie i małe; nie zawierają one korektora ani nadajników do teletransmisji. Jeśli są wykonane starannie, to dają dość dobre wyniki.

Obecnie jest w próbach taki model, połączony z aluminiowym hełmem; dzięki swej lekkości i dobremu wyrównoważeniu mało obciąża nasłuchującego.

* * *

O strzelaniu na słuch. Nasłuchowniki duże, np. Sperry i Goerz, mają korektory umożliwiające kierowanie reflektorem. Poszukując jednak samolotu za pomocą reflektora demaskujemy nasze stanowiska.

Zdaniem autora zastosowanie nasłuchowników do strzelania do celu niewidocznego daje lepsze wyniki. Od chwili pierwszego pomiaru przez nasłuchownik do chwili przekazania działom elementów strzału upływa pewien czas, potrzebny dla dokonania pomiarów i obliczeń na przyrządach. Idealnym rozwiązaniem byłoby takie, żeby zaraz po pierwszym pomiarze nasłuchownika można było podać elementy strzału na działo. Autor nie wątpi, że zagadnienie to będzie rozwiązane [1]) za pomocą odpowiedniego układu przyrządów łączących nasłuchownik z działami; nasłuchownik powinien stać o kilkaset metrów od baterii.

Autor uważa, że wyniki doświadczeń w ciągu roku są bardzo zachęcające do dalszych prac, które powinny być prowadzone z całą intensywnością.

S. S.

Budownictwo przemysłowe jako czynnik przygotowania do wojny.

S. Wiszniow. (Płanowoje Choziajstwo, IV. 1937 r.).

W czasie największego nasilenia ekonomicznego kryzysu światowego (1931—1932) nowe budownictwo wszelkiego rodzaju wykazywało zastój i upadek. Po czym nastąpił stopniowy wzrost, niejednakowy w różnych krajach. Zaznaczył się on głównie w budownictwie zakładów przemysłowych z upośledzeniem budownictwa mieszkaniowego. Groźba możliwości wojny skierowuje przemysł w pewnym kierunku. Podstawa przemysłowa, która wystarczała dla wojny przed kilku laty, dziś już nie odpowiada zmienionym warunkom. Zmiany w budowie organizacyjnej i w uzbrojeniu wojska wymagają innych stosunków pomiędzy gałęziami przemysłu wojennego: specjalnie rozwinął się przemysł lotniczy, czołgowy i środków bojowych.

Wojenna produkcja przemysłowa, która obejmuje nie tylko wytwórnie przemysłu wojennego, ogromnie się rozwinęła, czego dowodem wzrost rozchodów na cele wojenne (w niektórych krajach zamówienia wojenne stanowią 30 — 40% całej produkcji, a w przemyśle ciężkim 70 — 80%).

---

[1]) Tak mechanizm nasłuchu, jak i sama natura zjawisk przy tym zachodzących (np. czas przelotu dźwięku) mało — jak się zdaje — usprawiedliwiają optymizm autora co do widoków strzelania na słuch (przyp. rec.).

Wykonanie programów bieżących wymaga modernizacji i rozwoju zakładów przemysłowych, ze względu na nowe i złożone konstrukcje i surowsze warunki techniczne. O rozwoju przemysłu wojennego w czasie pokoju dowodzi wzrost wartości akcyj niektórych odnośnych przedsiębiorstw, który od 1932 do 1936 r. wyraża się 3 do 9 krotnym zwiększeniem. (Autor podaje wartości akcyj 10 znanych firm zagranicznych pracujących w dziedzinie uzbrojenia).

W budownictwie przemysłowym, opartym na potrzebach wojennych, dają się rozróżnić 3 główne kierunki: 1) Rozwój wydajności produkcji przedmiotów uzbrojenia; 2) Rozwój gałęzi pomocniczych, potrzebnych dla zabezpieczenia potrzeb frontu i funkcjonowania tyłów, jak przemysł samochodowy, obrabiarkowy, mechanizmów precyzyjnych; 3) Rozwój wydobycia i przeróbki surowców, ewent. wytwarzanie surogatów i materiałów syntetycznych.

Zmiany w stanie ilościowym, organizacji i technice zaopatrywania sił zbrojnych w ciągu lat ostatnich spowodowały istotne zmiany w charakterze wymagań stawianych przemysłowi. Przede wszystkim w niektórych krajach nastąpiło zwiększenie ilościowego stanu wojska w czasie pokoju (Niemcy, Włochy, Anglia, Stany Zjednoczone, Czechosłowacja), co pociągnęło za sobą dodatkowe zapotrzebowania na sprzęt uzbrojenia dla nowych formacyj i dla zapasów na wypadek wojny. Wzrost nasycenia szeregów wojska techniką wojenną doprowadził do zwiększonego zapotrzebowania na r. k. m. i c. k. m., działka małokalibrowe, amunicję strzelecką i przeciwpancerną, na czołgi i ciągniki. W wielu krajach pozostały na uzbrojeniu typy czasu wojennego (z 1914 — 18 r.) i okazały się one już przestarzałe, wymagały zatem zmodernizowania. Z typów dawnych pozostały: karabin, rewolwer, granat ręczny, natomiast znacznie naprzód poszła konstrukcja dział i czołgów. Przyjęcie nowego typu broni na uzbrojenie wojska zmusza do wyrobu odpowiedniej ilości tego nowego sprzętu dla wojska czasu pokojowego i dla zapasów mobilizacyjnych oraz pociąga za sobą wyrób licznej amunicji; dotyczy to np. dział plotniczych i ppancernych.

Równolegle z rozwojem sił lądowych odbywa się jeszcze szybszy proces rozwoju sił powietrznych; w ciągu 2-ch ostatnich lat ilość samolotów 1-ej linii wzrosła mniej więcej 3 krotnie, a trzeba pamiętać, że na każdy samolot liniowy przypada około 5 samolotów rezerwowych, ćwiczebnych, szkolnych. Następnie lotnictwo potrzebuje własnego uzbrojenia: bomb, k. m., działek, materiałów wybuchowych i trujących. Gdzieniegdzie zatem wydatki na lotnictwo prześcignęły wydatki na wojsko lądowe (Anglia). Rozwój lotnictwa wysuwa również nowe żądania jakościowe dla przemysłu: zwiększenie mocy silników, szybkości lotu, wzmocnienie uzbrojenia, stosowanie nowych materiałów i sposobów obróbki i wobec tego w niektórych państwach przemysł lotniczy nie może podołać wymaganiom wojska.

Inaczej przedstawia się sprawa w budownictwie okrętów: tutaj technika budowy nie poczyniła zasadniczo wielkich skoków, a stocznie handlowe mogą bez większych trudności zająć się budową okrętów wojennych. Specjalne jednak działy, jak wyrób torped, min, łodzi podwodnych, opancerzenia, dział morskich, przyrządów do kierowania ogniem itp. nie mogły i tu nadążyć zapotrzebowaniom.

Technika wojenna ostatnich lat spowodowała zatem rozwój następujących gałęzi przemysłu wojennego:

b) Przemysł lotniczy, a zwłaszcza silników lotniczych. b) Budowa czołgów. c) Wyrób działek ppanc i plotn. oraz ich amunicji. d) Wyrób bomb lotniczych i uzbrojenia lotniczego. e) Masowy wyrób masek przeciwgazowych dla wojska

i ludności. f) Wyrób torped i specjalnego uzbrojenia floty. g) Wyrób środków technicznych dla obrony tyłów (baterie plotnicze, reflektory, zapory siatkowe na balonach itp.). h). Wyrób dalmierzy, nasłuchowników, wyliczników, przyrządów celowniczych i sygnalizacyjnych, przyrządów pokładowych lotniczych, aparatów fotograficznych, lotniczych itp.

Rozwój wydajności przemysłu wojennego idzie dwiema drogami: przez pociągnięcie do pracy przedsiębiostw cywilnych i przez budowę nowych wytwórni wojskowych; rozbudowa starych wytwórni rzadko się obecnie stosuje, ze względu na ich nieodpowiednie położenie geograficzne i na trudności racjonalnej organizacji pracy w przedsiębiorstwach o bardzo urozmaiconej zwykle produkcji. Na wybór miejsca nowych wytwórni wpływają warunki bezpieczeństwa względem nalotów nieprzyjacielskich, ataków wojsk zmotoryzowanych i ostrzeliwania bardzo dalekonośną artylerią ewent. artylerią rakietową. Wobec rozległości promienia działania współczesnego lotnictwa bombardującego, w Europie Zachodniej nie ma miejsc zabezpieczających od takiego nalotu; oddalenie wytwórni od granicy kraju zwiększa jednak trudności dokonania skutecznego ataku z powietrza, a zwłaszcza szanse obrony. Z wyborem miejsca na wytwórnię wojenną związana jest perspektywa znacznego zwiększenia ilości robotników w okresie mobilizacji przemysłu. Ponieważ obecnie wytwórnie te pracują już z silnym obciążeniem (np. w Rosji przeważnie na 3 zmiany — przyp. rec.), współczynnik mobilizacyjnego rozwoju nie jest wysoki, podczas gdy dawniej obciążenie wytwórni wynosiło zaledwie 10—15% możliwości produkcyjnych tejże. Obecne rezerwy kryją się w zapasowych instalacjach, powiększeniu ilości zmian, przedłużeniu godzin roboczych. Celem zapewnienia szybkiego rozwoju na wypadek mob., powinny znajdować się znaczne rezerwy siły roboczej w pobliżu wytwórni, zabezpieczone co do mieszkań, zaopatrzenia w żywność, wodę itp. W Stanach Zjedn. liczą, że zamieszkałe okolice mogą dać dla przemysłu wojennego 5% ludności. A więc np. wytwórnia obliczona na 5.000 robotników powinna znajdować się w pobliżu miejscowości posiadającej jakie 100.000 mieszkańców. Niewielkie wytwórnie chemiczne mogą być więcej oddalone od większych osiedli. Ponadto bierze się pod uwagę źródła surowców, możliwości transportu (zwłaszcza wodnego), zaopatrzenie w energię elektryczną, przestrzenie wolne dla poligonów, aerodromów itp. jak również grają tu rolę względy polityczne (np. nastroje ludności miejscowej). Z tych różnych przyczyn nastąpiły w niektórych krajach zmiany dyslokacyjne wytwórni wojennych, np. w Niemczech przesunięto w głąb kraju nadreńską wytwórnię dział z Düsseldorfu, wytwórnię samochodów Oppel, wytwórnię amunicji z Bochum, szereg zakładów chemicznych, a częściowo i zakłady Kruppa z Essen. Najbezpieczniejszymi są tam rejony centralne i północne. W Anglii od 1936 r. zaplanowano przeniesienie zbrojowni Woolwich i innych przedsiębiorstw z okolic Londynu. Zbrojownia Woolwich, która posiadała w 1918 r. — 70.000 robotników, obecnie została podzielona na 5 poszczególnych wytwórni: dział, naboi, zapalników itd. Przeniesienie w miejsca więcej bezpieczne w Niemczech i Anglii nie jest związane z zupełną likwidacją zakładów w poprzednich miejscach, pozostały one jako mniej ważne, np. jako zakłady naprawcze. W Anglii za miejsca bezpieczne uważane są okolice morza Irlandzkiego oraz południowa Szkocja. We Francji w okolicach Paryża był skoncentrowany przemysł samochodowy i lotniczy; od 1932 r. poczęto go przenosić dalej na prowincję, tworząc nowe centry przemysłu lotniczego: Havre, Bordeau, Marsylia, St. Nazare, Tuluza, Orlean. Zasadniczo wszędzie wielkie wytwórnie z urozmaiconą produkcją rozdrobniono na mniejsze wyspecjalizowane, zaopatrzone w najnowsze urządzenia techniczne.

Po skończeniu wojny światowej w 1918 r. aż do 1933 r. większych zakładów przemysłu wojennego nigdzie prawie nie budowano, za wyjątkiem państw mniejszych, zwłaszcza tych, które odzyskały niepodległość. W czasie tej wojny powstały zakłady-olbrzymy, jak np. wytwórnia amunicji Citröena pod Paryżem na produkcję 1 miliona pocisków 75 mm miesięcznie; pod Rouen nie wykończona zbrojownia miała zatrudniać 30.000 robotników. W Stanach Zjedn. powstały wielkie wytwórnie prochu i amunicyjne na 10—12.000 robotników i zaczęto tam budować na wyspie Nevil Island wytwórnię dział znacznie większą od znanych zakładów Kruppa, Schneidera, czy Vickersa. Wytwórnie gazów bojowych zatrudniały też po 10—12.000 robotników. Obecnie uważają, że raczej wytwórnie mniejsze mają dużo stron dodatnich, a mianowicie:

1. Zniszczenie większej fabryki bombardowaniem z powietrza jest łatwiejsze a powoduje większą stratę ekonomiczno-wojenną.

2. Wszelkie zahamowania w produkcji wielkiej fabryki (strejki, dywersje, pożary itp.) odbijają się silniej na zaopatrzeniu wojska.

3. Małe wytwórnie specjalne mogą być racjonalniej zorganizowane i przez to wydajniejsze.

4. Dublowanie małych wytwórni jest łatwiejsze i pożyteczne ze względu na rozsianie w terenie.

5. Wygoda w rozmieszczeniu siły roboczej, bez potrzeby budowania specjalnych wielkich pomieszczeń.

6. Łatwość kompletowania siły roboczej w czasie mobilizacji (3 lub 4 krotne zwiększenie stanu).

7. Ułatwienie przywozu surowców i wywozu fabrykatów oraz współpracy z wytwórniami pomocniczymi czy pokrewnymi.

8. Szybsza budowa i uruchomienie, co jest obecnie wyjątkowo ważne.

9. Specjalizacja prac konstrukcyjnych i badawczych przy wytwórni.

10. Ułatwienie kierownictwa i przeprowadzenie mobilizacji.

Zmniejszenie skali przedsiębiorstw ma też swoje ujemne strony oraz pewne ograniczenia. Zbytnie rozdrobnienie np. wyrobu sprzętu uzbrojenia utrudnia sprawę zamienności części. Uzgodnienie pracy bardzo licznych współpracujących przedsiębiorstw w okolicznościach wojennych nastręczy poważne trudności. Zaopatrzenie drobnych zakładów w materiały, opał, energię — jest więcej skomplikowane. Małe laboratoria i biura konstrukcyjne nie mogą stanąć na wysokim poziomie techniki, co odbija się na jakości produkcji. Praktyka współczesna dowodzi. że normalną skalą dla nowych wytwórni wojennych są *przedsiębiorstwa średnie* pod względem ilości robotników i zajętej przestrzeni, natomiast co do wielkości produkcji odnieść je należy raczej do dużych przedsiębiorstw ze względu na wyrób wielkoseryjny i masowy oraz dużą wydajność produkcyjną. Przeważnie są to wytwórnie obliczone na 1000 — 2000 miejsc roboczych (olbrzymów po 20 — 30000 robotników teraz się nie buduje), co oznacza 2000 — 5000 robotników zależnie od ilości zmian. Dogodniej jest stosować 2 zmiany po 10 godzin niż 3 po 7 lub 8 godzin; bo wymaga to mniejszej ilości robotników i pozostawia dość czasu na przegląd i remont obrabiarek.

Specjalizaaja wytwórni idzie dwiema drogami: wg typów produkcji lub wg zasadniczych agregatów (węzłów). Więc np. w przemyśle lotniczym specjalizacja może polegać na wyrobie 2 lub 3 typów: ciężki bombowiec, wywiadowczy wodowiec i samolot pościgowy; wg węzłów zaś specjalizacja dotyczyć będzie: podwozia,

kadłuba, skrzydeł, oporządzenia, śmigła, silnika itp. Zwykle podział specjalności odbywa się podług pierwszego sposobu. Idealną specjalizacją byłoby zróżniczkowanie skombinowane na typy i ich węzły, lecz wtedy każdy rodzaj broni wymagałby bardzo wielu oddzielnych wytwórni. Naprzykład dla 4 typów czołgów i 5 węzłów (silnik, przekładnia, gąsienice, kadłub opancerzony, uzbrojenie) potrzebaby 20 specjalnych wytwórni o dużej wydajności, dublowanie zaś ich zapasowe wymagałoby conajmniej 40 różnych fabryk. W razie rozdrobnienia na jeszcze większe specjalności (sprężyny, rolki, części gąsienic itp.) powstałyby setki wytwórni do współpracy. Czasem jednak tego rodzaju zróżniczkowanie bywa zastosowane z pożytkiem, jak np. było w Niemczech przy wyrobie karabinów: udział w tym brały niektóre oddziały fabryk cywilnych. Zapatrywania dzisiejsze autorów niemieckich, angielskich i amerykańskich skłaniają się ku ograniczeniu ogólnej ilości stosunkowo większych wytwórni czasu wojennego do jednego lub dwóch tysięcy, włączając w to kadrowe zakłady wojskowe i zmobilizowane cywilne. Oczywista, że w zależności od charakteru przedsiębiorstw, potrzeb wojska i warunków ekonomicznych danego kraju, rozmiary nowych wytwórni wojskowych mogą się wahać w dość szerokich granicach. Oto przykłady najnowsze z Niemiec, Anglii i Japonii.

TABELA

Rodzaj produkcji	Ilość robotn. na 1 zmianę	Maksym. wydajność miesięczna przy 600 godzinach	Produkcja brutto na 1 robotnika rocznie w tys. dolarów
Składanie czołgów średnich i montaż pancerzy.	1.000 — 1.500	500—600 szt.	25 — 30
Obróbka mechaniczna luf i zamków działowych.	1.500 — 2.000	500—600 szt.	6 — 8
Obróbka mechaniczna i składanie karabinów.	2.500 — 3.000	100—200 tys. szt.	7 — 9
Obróbka mechaniczna skorup pocisków 75 — 100 mm	1.000 — 1.200	150—200 tys. szt.	12 — 15
Wyrób bombowców dwumotorowych (bez silników)	2.000 — 2.500	200—250 szt.	10 — 12
Wyrób filtrów i składanie masek przeciwgazowych	400 — 500	1,5—2 milion. szt.	25 — 30

Osobną dziedziną budownictwa przemysłowego jest budownictwo związane z rozwojem produkcji *surowców i materiałów znaczenia wojennego*, jak metale kolorowe, ich namiastki, materiały opałowe, kauczuk i masy plastyczne. Plan drugiego okresu czteroletniego w Niemczech ma na celu stworzenie samowystarczalności w tym kierunku (opał ciekły z węgla brunatnego, metale lekkie, włókna sztuczne, kauczuk syntetyczny).

Powyższy przegląd wykazuje — z jednej strony, jaką rolę gra nowe budownictwo przemysłowe w przygotowaniach wojennych, a z drugiej, jak wpływają rozważania wojenne na charakter tegoż budownictwa. *W. V.*

Organizacja i działalność służby uzbrojenia w Stanach Zjednoczonych [1])

ppłk R. Marsh. (Army Ordnance, 1937 r.).

Zagadnienie służby polowej.

Już po napisaniu niniejszego artykułu wydano rozporządzenie Min. Wojny, wprowadzające pewne zmiany w organizacji dywizji piechoty i jej służby uzbrojenia; nowa organizacja, która usunie pewne błędy dotychczas istniejące, ma być wypróbowana w roku bieżącym, a następnie będzie opisana w niniejszym czasopiśmie. Między innymi, utworzono nowe kompanie uzbrojenia dla obsługi jednostek floty powietrznej.

Autor omawia istniejącą dotychczas (poprzednią) organizację i proponuje pewne zmiany organizacyjne. Od czasu wojny światowej prawie bez przerwy rozważano o zagadnieniach służby uzbrojenia. W licznych wykładach, artykułach i dyskusjach omawiano fakty i liczby dotyczące setek i tysięcy ton przedmiotów zaopatrzenia, milionów naboi i bilionów dolarów ich wartości. Jednak poza sprawą uzyskania przedmiotów zaopatrzenia istnieją inne jeszcze sprawy, które tworzą całokształt zagadnień służby uzbrojenia w polu. W publikacjach Min. Wojny nie zostały ujęte w całości funkcje służby polowej i odpowiedzialność Dep. Uzbr. Ogólne zadania regulaminowe Dep. Uzbr. omówione były uprzednio w cyklu artykułów niniejszych, jak również obowiązki oficerów uzbrojenia i służby polowej Dep. Uzbr.

Rozpatrując bliżej organizację dostawy sprzętu i amunicji, pielęgnowania sprzętu, sprawy personelu, ekwipunku itp., dochodzi się do wniosku, że istnieją tu pewne niedomówienia i rozbieżności; dzisiejszym problemem służby polowej uzbr. jest właśnie usunięcie tego chaosu.

Wojenne doświadczenia amerykańskie w służbie polowej ograniczają się do wojny światowej, gdzie operowano w warunkach osobliwych i bardzo specjalnych wojny pozycyjnej, w kraju gęsto zaludnionym i kulturalnym, z rozbudowaną siecią dróg komunikacyjnych kolejowych i kołowych w oparciu o składnice wojenne, które powstały w ciągu trzyletnich zmagań na tym samym terenie operacyj wojennych. Doświadczeń uzyskanych z tamtej wojny nie da się stosować bezpośrednio do innych możliwych kampanij. Zbyt wiele studiów poświęcono operacjom na froncie zachodnim, a zbyt mało—na innych teatrach wojny, co jednak miałoby również wartość naukową dla strategików. W czasie pokojowym zagadnienie służby uzbrojenia jest rozwiązane zadawalająco, lecz w razie zmiennych warunków czasu wojennego, kiedy oddziały te będą zmuszone operować ekwipunkiem polowym ruchomym, powstać mogą bardzo duże trudności do pokonania.

Usterki, jakie porusza autor w organizacji służby polowej uzbr., dotyczą warunków jedynie amerykańskich; zostały one zresztą już usunięte przez wprowadzenienie nowej organizacji i dlatego streszczać ich tu nie będziemy, bo mają tylko lokalne i już historyczne znaczenie.

---

[1]) Cykl artykułów o służbie uzbrojenia składał się z następujących rozdziałów:
„Organizacja i działalność Departamentu Uzbrojenia" (WTU. 1935 r.. str, 262)
„Kompania służby uzbrojenia w armii" (WTU. 1936 r., str. 276)
„Działalność służby uzbrojenia w obszarze tyłowym" (WTU. 1936 r., str. 418)
„Działalność służby uzbrojenia w obszarze operacyjnym" (WTU. 1936 r., str. 425)
„Kompania naprawcza dywizji piechoty" (WTU. 1937 r.. str. 102)
„Zaopatrywanie w amunicję" (WTU. 1937 r., str. 104, 305)
„Służba uzbrojenia armii" (WTU. 1937 r., str. 632).

Służba uzbrojenia korpusu.

Gdy korpus działa jako część składowa armii, działalność jego służby uzbrojenia przypomina funkcjonowanie odpowiednich oddziałów dywizji, nie wiele się od nich różniąc. Gdy korpus działa samoczynnie, staje się jakby małą armią i posiada swoje własne oddziały sł. uzbr. wzmocnione przez części wydzielone z armii lub odwodów Naczelnego Dowództwa.

Autor rozważa dotychczasową organizację, która uległa już zmianom, a zatem dyskusja ta jest obecnie już nieaktualną i wobec tego ją opuszczamy.

W. V.

BIBLIOGRAFIA

Rocznik I-y Koła Naukowego Techniki Wojskowej Studentów Politechniki Warszawskiej (1938 r.).

Zawiera między innymi następujące prace: Koło Naukowe T. W. jako teren pracy wojskowo-technicznej — kpt. inż. I. Harski.

Wyższe studium wojskowo-techniczne — S. Chudzyński i P. Sapiełkin.

Zagadnienie bezpieczeństwa w fabrykach materiałów wybuchowych i amunicji — S. Chudzyński i P. Sapiełkin.

Cel poszukiwań nowych materiałów wybuchowych i krótki ich przegląd — A. Soroka.

O błysku przy strzale i o substancjach przeciwbłyskowych — S. Rychter.

Żelazo elektrolityczne jako idealny materiał zastępczy do wyrobu pierścieni wiodących na pociskach artyleryjskich — por. Z. Dąbrowski.

Granaty zastępcze — S. Owczarek.

O stratach cieplnych energii prochu na ogrzanie lufy c. k. m. — inż. T. Robak.

Przykład rozwiązania konstrukcyjnego zapalnika wtłoczeniowo-bezwładnikowego z zabezpieczeniem na torze — inż. A. Kiciński.

Spawacz, dwumiesięcznik, rok I., styczeń — luty 1938 r. Wydawnictwo Stowarzyszenia dla rozwoju spawania i cięcia metali w Polsce (ul. Zgoda 10; prenumerata roczna 2 zł).

Czasopismo to przeznaczone jest dla dokształcania spawaczy i majstrów spawalniczych; poświęcone jest spawaniu elektrycznemu i acetylenowemu. Szybki rozwój spawalnictwa w Polsce spowodował stworzenie tego czasopisma przeznaczonego dla sfer rzemieślniczych.

Technologia metali w zagadnieniach bieżących i praktycznych przez inż. metalurga L. Bindera. Wyjdzie wkrótce w druku w 6 tomach:

I Hutnictwo. II Odlewnictwo. III Materiały ogniotrwałe. IV Paliwa. V Obróbka cieplna metali. VI Kuźnictwo i walcownictwo. Poziom pracy dostosowany jest do programów szkół zawodowych średnich, licealnych i wyższych. (Cena dzieła wyniesie 45 zł. Skład główny u autora: Katowice—Ligota, Zgoda 18/3).

Rzeczywistość gospodarcza Polski i zamierzenia ku poprawie. Broszura wraz z 22 tablicami plastycznymi, opracowana i wydana przez Muzeum Techniki i Przemysłu w Warszawie (cena 1 zł 65 gr, do nabycia w księgarniach). Broszura ta ma na celu popularyzację ważkich problemów polskiej rzeczywistości gospodarczej

i uświadomienie najszerszych sfer obywateli o niezbędności czynnego współdziałania z całością naszego życia gospodarczego. Piękne tablice uzupełniają wielkie i palące zagadnienie poprawy obecnego stanu gospodarczości — w sposób przystępny i poglądowy.

Stanowią one w oryginale uzupełnienie eksponatów *Muzeum T. i P.*, którego głównym zadaniem jest wprowadzanie szerokich rzesz zwiedzających w podwoje laboratoriów naukowych i pracowni różnych zawodów, przemysłów i rzemiosł, demonstrując *dawne* i *nowoczesne* sposoby produkcji oraz istotę postępu technicznego.

KOMUNIKATY

1. *„Złota Księga Artylerii"* ukaże się w druku jako dzieło dwutomowe w końcu 1939 r. Wydana przez Departament Artylerii M. S. Wojsk. zawierać będzie dzieje artylerii polskiej i uzbrojenia od początków jej istnienia w XIV w. aż po rok 1921. Dzieło to w formacie 25 $\times$ 32 cm obejmie około 400 stron druku wraz ze 150 ilustracjami i 20 planszami trójkolorowymi. Zawierać ono będzie listy artylerzystów poległych i odznaczonych Virtuti Militari w latach 1914 — 1921 oraz karty reprezentacyjne wszystkich jednostek artylerii. Przedstawiać więc sobą będzie chwałę artylerii polskiej i stanowić będzie wiecznie żywe źródło wskrzeszonej tradycji artyleryjskiej. Dzieło to powinno się znaleźć w ręku nie tylko każdego artylerzysty, ale i w tych domach polskich, które pielęgnują żołnierską tradycję polską.

Komitet redakcyjny stanowią: przewodniczący — gen. bryg. E. Przedrzymirski-Krukowicz; zastępca przewodniczącego — płk dypl. J. Łunkiewicz. Członkowie. płk s. s. B. Gembarzewski, płk s. s. S. Więckowski, płk dypl. M. Korewo, ppłk s. s. M. Landau, ppłk s. s. W. Vorbrodt, ppłk dypl J. Ciałowicz, ppłk dypl. W. Gierowski, kpt. M. Wieliczko-Wielicki.

Prenumeratorzy Przeglądu Artyl., Wiadomości Tech. Uzbr., oficerowie i podoficerowie zawodowi oraz biblioteki wojskowe mogą nabyć to dzieło po cenie ulgowej, tj. 30 zł płatnej w ratach po 5 zł, poczynając od 1 IV 38 r. Osoby cywilne wpłacające od razu całą należność korzystają z ceny zniżonej 35 zł. Dzieło po ukazaniu się będzie kosztować 40 zł.

(Administracja Złotej Księgi Artylerii mieści się w Dep. Art. M, S. Wojsk., ul. Marszałkowska 26. Konto P. K. O. Nr 18.149).

2. Dowództwo lotnictwa M. S. Wojsk. ogłasza *konkurs nieograniczony* na „Przyrząd do mierzenia zużycia paliwa w locie". Nagrody w wysokości od 500 do 3.000 zł ustali Pan II Wiceminister Spraw Wojskowych. Termin nadsyłania prac do dnia 15 XI 1938 r. pod adresem: Instytut Techniczny Lotnictwa, ul. Puławska 2, Bliższych informacyj i warunków konkursu udziela Referat Prawny Biura Technicznego I. T. L., tel. 7-08-46.

AWIZO

Spółka Akcyjna Lignoza, Katowice, ul. Dworcowa 13 zamierza *kupić komplet zeszytów Wiadomości Techn. Uzbrojenia* od Nr 1 do Nr 38. Uprasza się nadsyłać oferty pod adresem powyższym.

WARUNKI OGŁASZANIA PRAC
W „WIADOMOŚCIACH TECHNICZNYCH UZBROJENIA".

1. Prace do druku należy przysyłać pod adresem: Redakcja „Wiadomości Technicznych Uzbrojenia" Instytut Techniczny Uzbrojenia, ul. Ludna 13.

2. Prace powinny być pisane na maszynie lub czytelnie ręcznie, na jednej stronie, z pozostawieniem odstępów między wierszami dla umożliwienia poprawek.

3. Prace powinny być starannie wykończone pod względem stylu i pisowni. Zmiany podczas korekty autorskiej mogą być czynione jedynie na koszt autora.

4. Redakcja przyjmuje jedynie prace nigdzie dotychczas nie drukowane.

5. Redakcja zastrzega sobie prawo czynienia wszelkich poprawek stylistycznych, interpunkcji oraz skracania nadesłanych artykułów, nie naruszając jednak zasadniczych myśli autora. W razie poważniejszych poprawek albo odpowiedniego zastrzeżenia ze strony autora, redakcja poprawioną pracę przesyła autorowi do wyrażenia zgody na opublikowanie jej w poprawionej formie.

6. Redakcja zwraca rękopisy i rysunki lub fotografie, jeżeli autor zastrzega to sobie.

7. Honoraria autorskie wynoszą: za wiersz garmondu 30 gr, za wiersz petitu 36 gr, w wyjątkowych wypadkach redakcja podwyższa honorarium (za prace wybitnej wartości).

8. Rysunki i szkice załączone do prac są honorowane jedynie w razie poprawnego ich wykonania, kwalifikującego je do bezpośrednich zdjęć na klisze. Honorarium za nie oblicza się wg zajmowanych przez nie wierszy garmondu. Koszty przepisania na maszynie lub przerysowania odlicza się z honorarium.

Adres Redakcji i Administracji: Warszawa, Ludna 13, Inst. Tech. Uzbr

Tel. Redakcji 9-22-03; tel. Administracji 9-72-04.

Warunki prenumeraty: rocznie 6 zł. 80 gr. Nr pojedynczy 1 zł. 70 gr.—
Konto P. K. O. Nr 30254.

Drukarnia J. Jankowski i S-ka. Warszawa, Zielna 20. Tel. 519-77.